

AALTO-YLIOPISTO

SÄHKÖTEKNIIKAN KORKEAKOULU

Elektroniikan laitos
Valaistusyksikkö

Taneli Lehtonen

Tie- ja katuvalaistuksen valaistusteknilliset laadunvarmistusmittaukset

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 25.11.2013

Työn valvoja professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja TkT Aleksanteri Ekrias

Tekijä: Taneli Lehtonen

Työn nimi: Tie- ja katuvalaistuksen valaistusteknilliset laadunvarmistusmittaukset

Päivämäärä: 25.11.2013

Sivumäärä: 8+125

Elektroniikan laitos, Valaistusyksikkö

Professori: Valaistustekniikka ja sähköinen talotekniikka

Koodi: S-118

Valvoja: Professori Liisa Halonen

Ohjaaja: TkT Aleksanteri Ekrias

Tiivistelmäteksti:

Valaistusalan yleinen muutostila ja valaistusurakoinnin ominaispiirteet lisäävät tie- ja katuvalaistushankkeiden loppulaadunvarmistuksen tarvetta. Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmiä on käytössä erilaisia, mutta ne mielletään hankaliksi ja kalliiksi, eikä niitä ole tehty kuin suurimpien hankkeiden yhteydessä. Erilaisten menetelmien käyttö tekee mittaustuloksista moniselitteisiä ja niiden keskinäisestä vertailusta hankalaa. Yksinkertainen ja nopea mittaussuunnitelma laskisi laadunvarmistuksen kustannuksia ja tekisi siitä houkuttelevampaa myös pienempien hankkeiden yhteydessä.

Tässä diplomityössä kehitettiin parannettu tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmä, jonka avulla voidaan todeta uuden tie- tai katuvalaistuskohdan vaatimustenmukaisuus sekä paikantaa mahdollinen asennusvirhe. Parannettu menetelmä on nopea ja yksinkertainen, mikä mahdollistaa valaistuksen laadunvarmistuksen myös pienempien hankkeiden yhteydessä. Työn lopputuloksena saatiin yksityiskohtainen toimintaohje, jossa kerrotaan, miten tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmittaukset suoritetaan ja miten mittaustulokset analysoidaan. Laadunvarmistusmittaukset suoritetaan valaistusvoimakkuusmittauksin.

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksen tämän hetkistä tilannetta kartoitettiin julkisille valaistustoimijoille suunnatulla kyselyllä sekä tie- ja katuvalaistuksen asiantuntijahaastatteluin. Kyselyn tuloksia käytettiin hyväksi laadunvarmistusmenetelmän kehityksessä.

Parannettu laadunvarmistusmenetelmä perustuu nykyisten laadunvarmistusmenetelmien periaatteisiin ja se kehitettiin nykyisten menetelmien parhaista puolista. Käytännössä kehitystyö perustuu työssä tehtyjen laadunvarmistusmittausten tuloksiin. Laadunvarmistusmittaukset eri kohteissa suoritettiin kaikkiaan kolmella nykyisellä eri menetelmällä.

Jatkotutkimusta tarvitaan erityisesti laadunvarmistusmittauksissa esiintyvien mittaussuunnitelmien osalta.

Avainsanat: laadunvarmistus, tie- ja katuvalaistus, valaistuslaskenta, valaistusmittaus, valaistusurakointi, valaistusvoimakkuus

Author: Taneli Lehtonen

Name of the thesis: Illuminance measurements as quality assurance in road and street lighting

Date: 25.11.2013

Number of pages: 8+125

Department of Electronics, Lighting unit

Professorship: Illumination engineering and electrical building services Code: S-118

Supervisor: Professor Liisa Halonen

Instructor: D.Sc. (Tech.) Aleksanteri Ekrias

Abstract text:

Due to new EU directives and rapid development of light sources and luminaires lighting field is constantly experiencing changes. This, mixed with common attitudes within contractor field leads to a growing need of quality assurance in road and street lighting. There are a few methods for performing quality control in road and street lighting but they are considered complicated and therefore expensive which is why quality assurance is commonly ignored. Comparing the results is difficult because different methods provide ambiguous results. Therefore, a new and simpler method for quality assurance in road and street lighting is required. The new method would lower the expenses, making quality control more tempting to carry out.

The goal of this master thesis is to develop a method for quality assurance which is simple and fast to carry out and would provide reliable conclusions. As a result of this master thesis a detailed guide for performing quality assurance is given. Guide includes a method for measuring lighting performance by means of illuminance measurement and for analyzing the results. The new method offers a reliable way to prove acceptability of the lighting installation.

Different ways for controlling the quality of road lighting in Finland are found out by performing a survey for municipal and public actors in road and street lighting. Development of the new method was done by performing lighting measurements with three different commonly used methods and combining the best experiences to one new method.

Further research should be concentrated to erroranalysis considering illuminance measurements on road and street environment.

Keywords: illuminance, lighting calculations, lighting contracting, lighting measurements, quality assurance, road lighting, street lighting

Alkulause

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistus on olennainen osa tie- ja katuvalaistukselle asetettujen toimivuusvaatimusten toteutumista. Diplomityön tekeminen valaistusteknisistä laadunvarmistusmittauksista on siten ollut etuoikeus.

Diplomityön tilaajina ja rahoittajina ovat toimineet Liikennevirasto ja ELY-keskukset, Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki, Lahden kaupunki, Tampereen kaupunki, Turun kaupunki ja Vantaan kaupunki. Haluan kiittää kyseisten tahojen tie- ja katuvalaistusvastaavia kiinnostuksesta tie- ja katuvalaistuksen laatuun ja sen ylläpitoon.

Haluan myös kiittää SITO Oy:tä, joka omalta osaltaan mahdollisti diplomityön tekemisen. Erityiskiitos SITO Oy:n ulkovalaistusosastolle rakentavista keskusteluista, vinkeistä ja palautteesta liittyen diplomityöhön kokonaisuudessaan.

Suurimmat kiitokset diplomityön osalta haluan osoittaa työn ohjaajalle TkT Aleksanteri Ekriakselle erinomaisesta ohjauksesta ja rakentavasta palautteesta koko työn ajan. Kiitos kuuluu myös työn valvojalle professori Liisa Haloselle.

Kotijoukkoja kiittäessä eivät sanat riitä kertomaan koko opiskeluajan jatkuneen kannustuksen ja tuen tärkeydestä. Toki sen ei toivo loppuvan vielääkään, sillä tärkein koulu on vasta alkamassa.

Otaniemessä 25.11.2013

Taneli Lehtonen

Sisällysluettelo

Alkulause.....	4
Sisällysluettelo.....	5
Käsitteet, lyhenteet ja symbolit	7
1 Johdanto.....	9
2 Tie- ja katuvalaistuksen lähtökohdat ja vaatimukset.....	11
2.1 Tie- ja katuvalaistuksen merkitys.....	11
2.2 Tie- ja katuvalaistuksen kannattavuus.....	11
2.3 Tie- ja katuvalaistuksen mitoittavat tekijät ja niiden vaikutus	12
2.3.1 Keskimääräinen luminanssi L_m	12
2.3.2 Yleistasaisuus U_o	13
2.3.3 Pitkittäistasaisuus U_l	13
2.3.4 Häikäisy ($TI\%$).....	15
2.3.5 Ympäristön valaistus (SR)	16
2.3.6 Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m	16
2.4 Valaistusvaatimukset ja -luokat	16
3 Tie- ja katuvalaistuksen mittaaminen ja arviointi	18
3.1 Standardi SFS-EN 13201-4 ”Tie- ja katuvalaistusmittaukset”	18
3.1.1 Valaistusteknillisten mittausten tavoitteet ja päämäärät	18
3.1.2 Edellytykset valaistusmittauksille.....	19
3.1.3 Mittausolosuhteet ja -ympäristö.....	20
3.1.4 Mittalaitteet ja mittaustoimenpiteet	20
3.1.5 Virhelähteet ja -epävarmuusanalyysi.....	21
3.1.6 Mittauspöytäkirja	21
3.2 Tie- ja katuvalaistuksen eri arviointimenetelmiä	22
3.2.1 Valaistusvoimakkuusmittaus	22
3.2.2 Luminanssimittaus	22
3.2.3 Dynaamiset valaistusmittaukset.....	23
4 Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistus Suomessa: kysely ja havainnot	25
4.1 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL).....	25
4.2 Nykyiset arviointimenetelmät	25
4.3 Tavallisimmin esiintyvät puutteet tie- ja katuvalaistusasennuksessa.....	26
5 Laadunvarmistusmenetelmän kehittäminen	28
5.1 Parannetun laadunvarmistusmenetelmän lähtökohdat	28
5.2 Nykyisten laadunvarmistusmenetelmien periaatteet.....	29
5.3 Valaistussuunnitelmat osana laadunvarmistusta	30
5.4 Mittauspisteverkot.....	31
5.4.1 Standardin SFS-EN 13201-4:n määrittelemä mittauspisteverkko	32
5.4.2 InfraRYL:n määrittelemä mittauspisteverkko	34
5.4.3 Sovellettu mittauspisteverkko.....	35
5.5 Laadunvarmistusmittausten virhelähteet ja mittausepävarmuus	36
5.5.1 Eri virhelähteitä ja niiden huomioiminen mittaustuloksissa.....	37
5.5.2 Valoanturin asennon vaikutus mittaustuloksiin.....	39
5.6 Mittaustulosten käsittely	41
5.6.1 Mittaustulosten esitystapa.....	41
5.6.2 Mittaustuloksista tarkasteltavat tunnusluvut.....	41
5.6.3 Mittaustuloksille sallittavat poikkeamat	42
5.7 Virheellisten valaisinasennuksien valaistusteknilliset tarkastelut.....	43
5.7.1 Erilaisia asennusvirheitä ja valaistusasennuksien toleranssit	43
5.7.2 Asennusvirheiden teoreettinen vaikutus mittaustuloksiin	45
5.7.3 Tarkastelujen yhteenveto	54

6	Laadunvarmistusmittaukset	55
6.1	Mittausjärjestelyt	55
6.1.1	Mittausvälineet	55
6.1.2	Mittausvalmistelut	57
6.1.3	Mittausmenettelyt	57
6.2	Mittaustulokset	57
6.2.1	Mt 170 Helsingintie, Kilpilahti, Uudenmaan ELY-keskus.....	59
6.2.2	Mt 11746 Kilpilahdentie, Uudenmaan ELY-keskus.....	65
6.2.3	Yksityistie Y4 Kilpilahdella, Uudenmaan ELY-keskus	77
6.2.4	Ilvestie, Helsinki	80
6.2.5	Näätätie, Helsinki.....	84
6.2.6	Yliskylänkaari, Helsinki	88
6.2.7	Umpiaidanpolku, Helsinki	92
6.2.8	Kaislatie, Vantaa	95
6.2.9	Kimalaisentie, Vantaa	98
6.2.10	Korennontie, Vantaa	101
6.2.11	Vartiolaakso, Lahti.....	103
6.2.12	Kaerlantie, Turku	109
6.2.13	Pulmussuontie, Turku	113
6.3	Yhteenveto laadunvarmistusmittauksista ja mittaustuloksista.....	117
6.3.1	Eri menetelmien soveltuvuus laadunvarmistukseen	117
6.3.2	Mitattujen ja laskennallisten arvojen vastaavuus.....	118
6.3.3	Sallittavat poikkeamat mitattujen ja laskennallisten arvojen välillä.....	119
6.3.4	Laadunvarmistusmittausten vahvuudet ja heikkoudet	120
7	Tie- ja katuvalaistuksen valaistusteknilliset laadunvarmistusmittaukset -ohje	122
7.1	Yleistä.....	122
7.2	Valaistusteknillisten mittausten suorittaminen.....	125
7.2.1	Mittausvälineet.....	125
7.2.2	Muistiinpanot	126
7.2.3	Mittauspisteverkko.....	126
7.2.4	Työvaiheet	127
7.3	Mittaustulosten analysointi	128
8	Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet.....	130
	Lähteet	132

Käsitteet, lyhenteet ja symbolit

Käsitteet

Ajokaista	Tiimerkinnöin osoitettu tai muuten autolle riittävän leveä ajoradan pitkittäissuuntainen osa.
Ajorata	Ajoneuvoliikenteelle tarkoitettu, yhden tai useamman ajokaistan käsittävä tien osa.
Alenemakerroin	Valonlähteen alenemakerroin kuvaa valonlähteen tuottaman valovirran alenemista. Alenemakertoimen käyttö varmistaa sen, että valon määrä ajoradalla on riittävä valonlähteen uusimiseen asti. Alenemakertoimen arvo riippuu käytettävästä valonlähteestä.
Luminanssi	Luminanssi osoittaa, miten valoisalta pinta näyttää tietystä suunnasta katsottuna. Toisin sanoen pinnan luminanssi määrittellään pinnan valovoiman tiheydeksi tarkastelusuuntaan. Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille [cd/m^2].
Mittausepävarmuus	Mittausvälineestä tai -menetelmästä aiheutuva virhe.
Mittauspisteverkko	Mittauspisteverkko määrittelee mittauspisteiden sijainnin ajoradalla.
Toleranssi	Asennustyölle sallittu virheraja.
Valaistuksen rakennussuunnitelma	Rakentamisen perusasiakirja, joka kuvaa työn lopputulosta. Sisältää myös valaistusteknilliset laskennot.
Valaistusvoimakkuus	Valaistusvoimakkuus kuvaa pinnalle saapuvan valon määrää pinta-alayksikkö kohti. Sen yksikkö on luks $[lx] = [lm/m^2]$.
Valonjako	Valaisimen valonjako kuvaa sitä, miten valo jakautuu valaisimesta ympäristöön, esimerkiksi ajoradan pinnalle.
Valopiste	Lampun polttopiste tai LED-moduulin keskipiste. Valopisteen sijainti valaisimessa riippuu muun muassa valaisimen ja lampun/LED-moduulin koosta.
Valovirta	Valovirta kuvaa valonlähteen näkyvän valon säteilytehoa painotettuna silmän spektriherkkyyssäyrällä. Valovirran yksikkö on lumen $[lm]$.
Valovoima	Valovoima kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta. Valovoiman yksikkö on kandela $[cd]$.

Lyhenteet

CEN	Euroopan standardisointijärjestö (<i>European Committee for Standardization</i>)
CIE	Kansainvälinen valaistuskomissio (<i>International Commission on Illumination</i>)
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristö (-keskus)
ILMD	kuvantava luminanssimittari (<i>image luminance measuring device</i>)
InfraRYL	Infra-alan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset
LED	loistediodi, ledi (<i>Light-Emitting Diode</i>)
SFS-EN	Suomessa ja Euroopassa vahvistettu standardi

Symbolit

C_{th}	kynnyskontrasti
E	valaistusvoimakkuus [lx]
E_m	keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]
$E_{m, kok}$	koko mittausalueen keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]
$E_{3min, m}$	koko mittausalueen kolmen pienimmän valaistusvoimakkuusarvon keskiarvo [lx]
$E_{m, pit}$	pituussuuntaisen mittauspistejonon keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]
$E_{3min, pit}$	pituussuuntaisen mittauspistejonon kolmen pienimmän valaistusvoimakkuusarvon keskiarvo [lx]
L	luminanssi [cd/m ²]
L_b	taustan luminanssi [cd/m ²]
L_m	keskimääräinen luminanssi [cd/m ²]
L_o	kohteen luminanssi [cd/m ²]
S	pylväsväli [m]
SR	ympäristön valaistussuhdeluku (<i>surround ratio</i>)
TI	kynnyskontrastin suhteellinen kasvu
U_l	luminanssin pitkittäistasaisuus
U_o	luminanssin yleistasaisuus
W_r	ajoradan leveys [m]
h	asennuskorkeus [m]
δ	kallistuskulma [°]
ν	kääntökulma [°]
ψ	kiertokulma [°]

1 Johdanto

Varsin vakaaksi tekniikanlajiksi ja markkinaksi mielletty ulkovalaistusala on viimeisen vajaan kymmenen vuoden aikana kehittynyt melkoisesti. Euroopan unionin vuonna 2005 antama energiatehokkuusdirektiivi 2005/32/EY, eli niin kutsuttu EuP-direktiivi (*energy using products*) asetti suuntaviivat ulkovalaistuksen tulevaisuudelle. EuP-direktiiviä seurasivat Euroopan komission asetukset EY N:o 245/2009 ja EU N:o 347/2010, joiden myötä osa perinteisistä valonlähteistä poistuu markkinoilta energiatehokkuusvaatimusten vuoksi.

Asetusten määrittelemät energiatehokkuusvaatimukset tarkoittavat lyhyesti sanottuna sitä, että nykyisin ulkovalaistuksessa usein käytettyjä valonlähteitä on vaihdettava energiatehokkaampiin vaihtoehtoihin, vieläpä kohtalaisen nopealla aikataululla. Tämä on aiheuttanut räjähdysmäisen kasvun uusien energiatehokkaampien tuotteiden, muun muassa LED-valaisimien, tarjonnassa ja kehityksessä. Kasvavat markkinat innostavat valaisinvalmistajia investoimaan tuotekehitykseen, ja uusia valaisinmalleja lanseerataan markkinoille yhä nopeammin. Toisaalta kilpailu markkinaosuuksista voi johtaa valaisintuotteiden ominaisuuksien liioitteluun, jolloin lopputuote ei vastaakaan luvattua.

Selvää on, että ulkovalaistusala koskevien muutosten tuomat mahdollisuudet ja haasteet heijastuvat myös tie- ja katuvalaistusurakoinnin puolelle, jolloin valaistustuotteet voivat syystä tai toisesta vaihtua urakan aikana. Lisäksi urakointialalle ominaiset tiukat rakentamisaikataulut ja kiire voivat johtaa asennusvirheisiin sekä laiminlyönteihin.

Jos edellä mainitut tekijät ja riskit toteutuvat, voi valaistusurakan lopputulos olla puutteellinen. Sen vuoksi tie- ja katuvalaistusasennusten laatua tulisi tarkkailla yhä enemmän.

Kuten mille tahansa valmiille tuotteelle, myös tie- ja katuvalaistusasennukselle voidaan tehdä loppulaadunvalvonta. Laadunvalvonnan avulla varmistetaan, että valaistusasennus on suunnitelmien ja laatuvaatimusten mukainen.

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmiä on olemassa erilaisia. Suomessa eräs laadunvarmistusmenetelmä on kuvattu ja ohjeistettu infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa [1]. Todellisuudessa ohjeistuksesta ei kuitenkaan tiedetä tai siitä ei piitata, mistä johtuen myös Suomessa on käytössä erilaisia laadunvarmistusmenetelmiä. Ongelmana on, että menetelmien monimuotoisuus tekee tuloksistakin moniselitteisiä, mikä hankaloittaa tulosten tulkintaa ja vertailua.

Suomessa tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistus ei ole johdonmukaista eli laadunvarmistusta ei aina tehdä. Laadunvarmistus saatetaan mieltää monimutkaiseksi työksi, jonka pelätään aiheuttavan lisäkustannuksia. Tällä hetkellä laadunvarmistus suoritetaan lähinnä vain suurimpien valaistusurakoiden yhteydessä, ja pienemmissä hankkeissa se jää toteuttamatta. Yksinkertainen laadunvarmistusmenetelmä pienentäisi kustannuksia, mikä tekisi laadunvarmistuksesta houkuttelevampaa myös pienemmissä hankkeissa.

Tämän diplomityön tavoite on kehittää tie- ja katuvalaistuksen tarpeita varten yksinkertainen ja käytännöllinen laadunvarmistusmenetelmä. Se tarkoittaa selkeitä toimintaohjeita koskien valaistusteknillisten mittausten suorittamista ja mittaustulosten

analysointia. Tarkoitus on, että tämän työn lopputulosten pohjalta valaistusasennuksen oikeellisuus voidaan valaistusteknillisten mittausten avulla todeta yksiselitteisesti.

Laadunvarmistuksen tärkeyden ymmärtämiseksi on olennaista, että lukija ymmärtää vaatimukset täyttävän tie- ja katuvalaistuksen merkityksen. Luvussa 2 esitetään tie- ja katuvalaistukseen liittyvät valaistusteknilliset perusteet sekä miten eri valaistusteknilliset tekijät ja niiden muutokset vaikuttavat ajoneuvon kuljettajan näkö- ja havaitsemiskykyyn. Näkö- ja havaitsemiskyvyn heikkeneminen valaistusasennuksen puutteellisuuden takia voi pahimmillaan johtaa liikenneturvallisuuden vaarantumiseen.

Luotettavien laadunvarmistusmittausten kannalta on tärkeää, että mittausten suorittaja tuntee tie- ja katuvalaistusmittauksille asetetut yleiset vaatimukset ja ohjeet. Niitä käsitellään luvussa 3. Luvussa 3 käydään lisäksi läpi yleisimmät tie- ja katuvalaistuksen arviointimenetelmät.

Nykyisiä laadunvarmistuskäytäntöjä kartoitettiin julkisten hankkeiden tilaajille suunnatulla kyselyllä. Lisäksi selvitettiin tie- ja katuvalaistuksessa useimmin esiintyviä puutteita ja ongelmia. Tulokset on esitetty luvussa 4.

Tässä työssä kehitettävä laadunvarmistusmenetelmä on parannettu versio nykyisistä laadunvarmistusmenetelmistä ja -käytännöistä. Luvussa 5 esitetään nykyisten laadunvarmistusmenetelmien periaatteet, joihin parannettu laadunvarmistusmenetelmä pohjautuu. Valaistusteknillisten mittausten lisäksi laadunvarmistusmittauksissa on olennaista mittaustulosten oikea tulkinta, minkä vuoksi luvussa 5 pohditaan myös laadunvarmistusmittauksiin liittyvää mittausepävarmuutta ja sen vaikutusta mittaustuloksiin. Lisäksi tutkitaan, miten eri asennusvirheet ovat havaittavissa mittaustuloksista.

Parannettu laadunvarmistusmenetelmä tarkoittaa myös tehostettua mittausmenetelmää. Tässä työssä tehtyjen laadunvarmistusmittausten avulla selvitettiin, voidaanko laadunvarmistusmittaukset suorittaa yksinkertaisesti, mutta luotettavasti. Mittaustulosten avulla arvioitiin myös mittauskohteiden valaistusasennusten oikeellisuutta ja johtopäätösten perusteella pohdittiin mittaustuloksille sallittavia poikkeamia. Tulokset on esitetty luvussa 6.

Työn lopputulokset on tiivistetty lukuun 7 ohjeen muodossa.

2 Tie- ja katuvalaistuksen lähtökohdat ja vaatimukset

Jotta tie- ja katuvalaistuksen laatuvaatimuksia ja laadunvalvonnan tärkeyttä voidaan perustella, on hyvä tiedostaa, miksi teitä ja katuja ylipäättänsä valaistaan, ja ymmärtää, miten eri valaistustasot ja -tekijät vaikuttavat näkemiseen. Tavoitteena on, että luvun jälkeen lukija ymmärtää johdonmukaisen valaistussuunnittelun tarpeellisuuden sekä suunnitelmien ja laatuvaatimusten mukaisen asennustyön merkityksen.

2.1 Tie- ja katuvalaistuksen merkitys

Tie- ja katuvalaistuksella on kolme päätehtävää; ajoradalla tapahtuvien toimintojen valaiseminen, ympäristön hahmottaminen sekä turvallisuuden ja viihtyisyyden lisääminen. [2, s. 9] Nämä tehtävät ilmenevät eri tavoin eri tilanteissa.

Lähtökohtana teiden ja katujen valaisemisessa on se, että pimeällä tapahtuu suhteellisesti enemmän liikenneonnettomuuksia kuin valoisana aikana. Pimeällä onnettomuusriski kasvaa kolminkertaiseksi [3, s. 6; 2, s. 8]. Tämä johtuu siitä, että pimeys heikentää kuljettajan näkö- ja havaitsemiskykyä. Tie- ja katuvalaistuksen päätarkoitus on liikenneturvallisuuden parantaminen vähentämällä pimeän ajan onnettomuuksia. Tutkimusten mukaan valaistus yleisillä teillä vähentää liikenneonnettomuuksia keskimäärin noin 30 prosenttia [3, s. 3; 4, s. 52; 2, s. 8]. Taajamissa erilaisia liikennelajeja ja tienkäyttäjiä (autoja, jalankulkijoita, pyöräilijöitä) on runsaammin, jolloin valaistuksen lisäämä liikenneturvallisuuskulma korostuu entisestään. Liikenneturvallisuuden lisäksi valaistus lisää tienkäyttäjien viihtyisyyttä ja yleistä turvallisuuden tunnetta tie- ja kaupunkiympäristössä. Kaupunkialueilla valaistuksella on merkittävä rooli ilkvallan ja rikollisuuden ehkäisyssä. [2, s. 8, 58]

Tie- ja katuvalaistus auttaa tienkäyttäjää hahmottamaan paremmin monimutkaisten liikennejärjestelyjen, kuten kierto- ja eritasoliittymien, rakennetta. Valaistuksen ja sen rakenteiden roolia ajoreittiä ohjaavana elementtinä (optinen ohjaus) ei voi väheksyä. Esimerkiksi saman pylvästyypin seuraaminen pitää kuljettajan oikealla reitillä. Pylvästyypin vaihtuminen voi myös viestittää esimerkiksi moottoritien loppumisesta ja taajama-alueelle saapumisesta. Valolajilla (eli lähinnä valon värillä) voidaan myös viestiä kuljettajalle mihin suuntaan päätie jatkuu. Valaistuskalusteilla ja -ratkaisuilla on myös vahva arkkitehtoninen vaikutus varsinkin kaupunkikuvan ja estetiikan kannalta. Jotta valaistusta voidaan käyttää myös tämänkaltaisiin tehtäviin, tarvitsee myös suunnittelun olla johdonmukaista ja monipuolista. [2, s. 58]

2.2 Tie- ja katuvalaistuksen kannattavuus

Tie- ja katuvalaistuksen tarve ja kannattavuus perustuu hieman eri tekijöihin riippuen siitä, rakennetaanko valaistus taajamaan tai sen ulkopuolelle. Moottoriteiden ja maanteiden valaiseminen perustuu pääasiassa liikennetaloudelliseen kannattavuuteen. Liikennetaloudellinen kannattavuus tarkoittaa sitä, että onnettumuuskustannussäästöt ovat suuremmat kuin valaistuksesta aiheutuvat kustannukset. Toisin sanoen, kun tievalaistus maksaa vähemmän kuin henkilövahingot ilman tievalaistusta, kannattaa tievalaistus rakentaa. Käytännössä mitä vilkasliikenteisempi tie, sitä kannattavampaa tie on valaista. Kuitenkin liikenneteknisesti monimutkaiset tieosuudet, esimerkiksi kierto- ja eritasoliittymät, valaistaan aina liikennemääristä riippumatta. Kaupunki- ja taajama-

alueilla katujen valaiseminen perustuu liikenneturvallisuuden ohella myös yleiseen turvallisuuden tunteeseen ja viihtyisyystekijöihin. [2, s. 10; 5, s. 8-10]

2.3 Tie- ja katuvalaistuksen mitoittavat tekijät ja niiden vaikutus

Tässä luvussa esitellään tie- ja katuvalaistuksen suunnittelussa ja arvioinnissa käytettävät tekijät sekä kerrotaan miten ne vaikuttavat ajoneuvon kuljettajan näkötehtävään ja miksi ne ovat näkemisen kannalta oleellisia. Näiden tekijöiden ominaisuuksien ja vaikutusten perusteella on johdettu valaistusteknilliset vaatimukset, jotka ohjaavat tie- ja katuvalaistuksen suunnittelua.

Ajoneuvoliikenteen valaistusvaatimukset ovat luminanssiperusteisia, joten tie- ja katuvalaistuksen mitoitus tehdään luminanssilaskelmaan perustuen. Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksessa vaatimustenmukaisuus voidaan kuitenkin todeta valaistusvoimakkuusmittausten avulla. Luminanssiin perustuvaa tie- ja katuvalaistuksen mitoitusta ja valaistusvoimakkuuteen perustuvaa laadunvalvontaa ei tule sekoittaa keskenään. Valaistusvoimakkuuden käyttö tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksessa esitetään myöhemmissä luvuissa.

Koska valaistusvaatimukset ovat luminanssiperusteisia, perehdytään seuraavaksi siihen, miten ajoradan pinnan luminanssi vaikuttaa ajoneuvon kuljettajan näkökykyyn.

2.3.1 Keskimääräinen luminanssi L_m

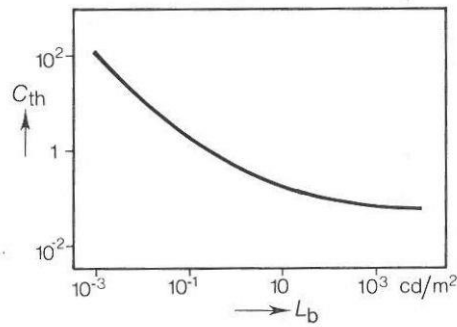
Ajoradan pinnan keskimääräinen luminanssi L_m osoittaa, miten valoisalta ajoradan pinta näyttää [2, s. 14]. Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille cd/m^2 . Pääasiassa alhaisten valaistustasojen vuoksi, tie- ja katuvalaistuksessa havaitseminen ja näkeminen perustuvat kohteen ja taustan, eli tässä tapauksessa ajoradan pinnan, väliseen kontrastieroon toisin kuin esimerkiksi sisätilojen valaistuksessa. [6, s. 16–17]

Ajoradan pinnan luminanssin kasvattaminen parantaa havaitsemista, jolloin ajoneuvon kuljettaja kykenee havaitsemaan kohteet kauempaa. [2, s. 14] Tämä on selitettävissä sillä, että tumman kohteen ja valoisamman ajoradan pinnan kontrastiero kasvaa, joten kohteet ajoradalla erottuvat selvemmin. [6, s. 17]

Luminanssikontrasti C määritellään kohteen luminanssin L_o ja taustan luminanssin L_b suhteellisenä erona yhtälön 1 mukaan [6, s.17].

$$C = \frac{|L_o - L_b|}{L_b} \quad (1)$$

Kynnyskontrasti C_{th} (*threshold contrast*) kertoo millä luminanssierolla kohde juuri ja juuri havaitaan tietyn luminanssin omaavaa taustaa vasten. Kuvasta 1 nähdään, että havaitsemisen mahdollistama kontrasti eli kynnyskontrastin arvo pienenee tienpinnan luminanssin kasvaessa. [6, s. 17]



Kuva 1. Kynnyskontrastin C_{th} (*threshold contrast*) ja taustan luminanssin L_b (*background luminance*) suhde. [6, s. 17]

Keskimääräisen luminanssin kasvattaminen myös lyhentää reaktioaikaa ja parantaa suhteellisen liikkeen arviointia. [2, s. 14]

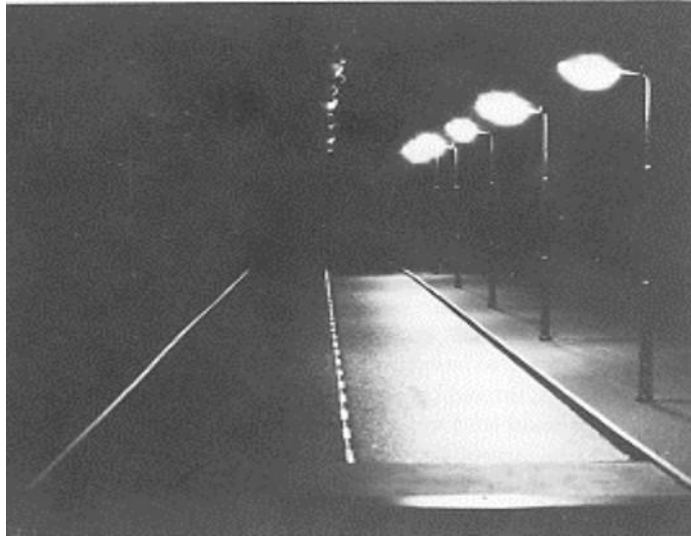
2.3.2 Yleistasaisuus U_o

Yleistasaisuus U_o kuvaa ajoradan pinnan luminanssia tasaisuutta koko ajoradalla (kuvat 2 ja 3) [7, s. 103]. Riittävällä ajoradan pinnan luminanssin yleistasaisuudella varmistetaan, että viereisillä kaistoilla sijaitsevat kohteet kyetään havaitsemaan koko ajoradan leveydeltä [8, s. 61–62]. Yleistasaisuus vaikuttaa siis merkittävästi näkösuorituskykyyn [2, s. 15].

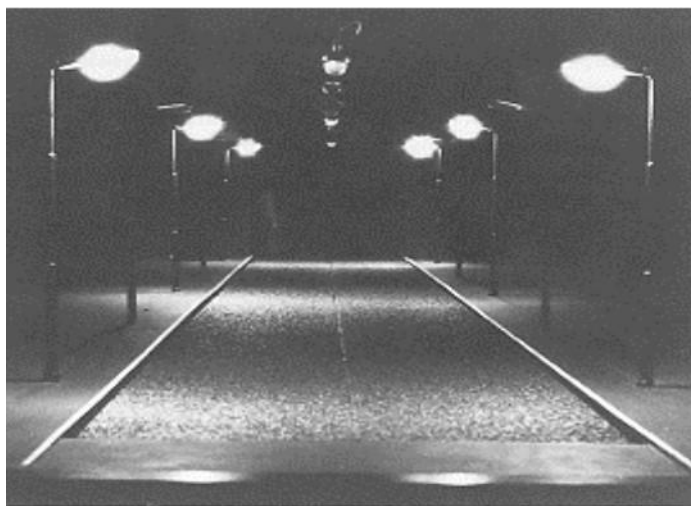
Yleistasaisuudella varmistetaan se, ettei ajoradalle pääse syntymään liian suuria luminanssieroja. Ajoradan pinnan suurista luminanssieroista seuraa, että tummemmilla alueilla sijaitsevia kohteita on vaikeampi havaita. Ilmiö on selitettävissä siten, että silmän kontrastiherkkyys pienenee johtuen tien kirkkaammista kohdista, joten silmä ei mukaudu näkemään tarkasti tummempiin kohtiin. Tummemmilla alueilla kohteen ja taustan kontrasti ero on myös pienempi, jolloin kohde on vaikeammin havaittavissa. Kuten kuvasta 1 nähdään, tummemmilla alueilla (taustan luminanssi L_b pieni) kynnyskontrastin arvo on suurempi. [6, s. 19]

2.3.3 Pitkittäistasaisuus U_l

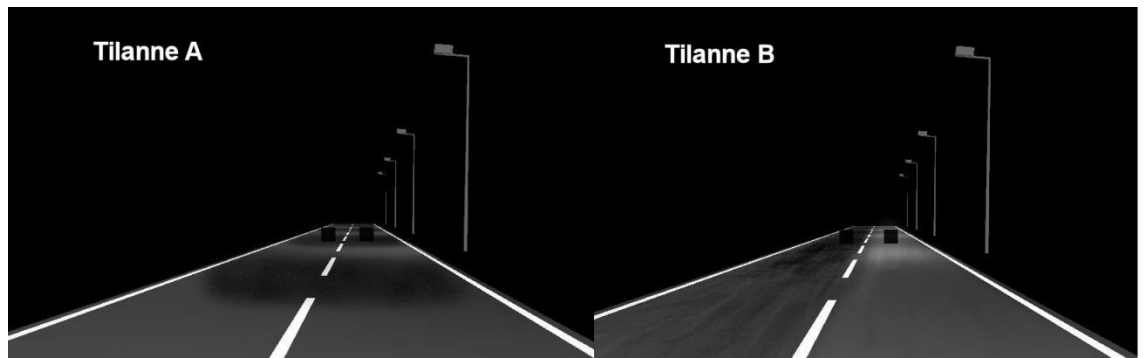
Pitkittäistasaisuus U_l kuvaa luminanssin tasaisuutta ajoradan pitkittäissuunnassa [7, s. 83]. Huonon pitkittäistasaisuuden omaavalle tielle on ominaista voimakas ”seepra”-kuvio (kuva 3), joka lisää silmän ärsytystä ja voi häiritä kuljettajaa. Pitkittäistasaisuus onkin enemmän mukavuus- kuin turvallisuustekijänä. Pitkittäistasaisuus määritellään jokaiselle kaistalle erikseen (kuva 2). Pitkittäis- ja yleistasaisuuden merkitystä ja eroa kohteiden havaitsemisen (turvallisuuden) kannalta on selitetty kuvassa 4. [6, s. 23; 2, s. 23, 62]



Kuva 2. Ajoinadan pinnan luminanssin yleistasaisuus. Kuvassa ajoradan pinnan luminanssin yleistasaisuus on puutteellinen, mutta pitkittäistasaisuus hyvä. [6, s. 146]



Kuva 3. Ajoinadan pinnan luminanssin pitkittäistasaisuus. Kuvassa ajoradan pinnan luminanssin yleis- ja pitkittäistasaisuus ovat puutteellisia. [6, s. 146]



Kuva 4. Yleis- ja pitkittäistasaisuuksien vaikutus kohteiden havaitsemiseen. Tilanne A: yleis- ja pitkittäistasaisuus puutteellisia. Pitkittäistasaisuus on mukavuustekijä. Kohteet näkyvät perspektiivin vuoksi valoisaa taustaa kohti vaikka ne sijaitsevat tummalla alueella. Tilanne B: yleistasaisuus puutteellinen, mutta pitkittäistasaisuus hyväksyttävä. Yleistasaisuuden puutteellisuuden vuoksi toiselle ajokaistalle ei tule riittävästi valoa, jolloin siellä olevat kohteet eivät näy.

2.3.4 Häikäisy (71%)

Häikäisy jaetaan kahteen eri luokkaan: esto- ja kiusahäikäisyyn. Kiusahäikäisy aiheuttaa nimensä mukaisesti epä mukavuutta näkemisessä. Kiusahäikäisyksi kutsutaan epämiellyttävää tunnetta, joka voi syntyä silloin, kun näkökentässä esiintyy suuria luminansseja tai luminanssieroja (esimerkiksi kirkas lamppu). Kiusahäikäisyn kokeminen on hyvin yksilöllistä. Kirjallisuudessa puhutaankin ”psykologisesta häikäisystä” [8, s. 33]. Kiusahäikäisyn subjektiivisen luonteen takia sen riippumaton arvosteleminen ja mittaaminen on hankalaa ja työlästä. Edellisistä syistä sekä siitä johtuen, että kiusahäikäisy ei varsinaisesti huononna näkökykyä, ei kiusahäikäisyä oteta huomioon tie- ja katuvalaistuksessa. [2]

Estohäikäisy (kuva 5) vuorostaan heikentää konkreettisesti näkemistä, ja sen vaikutus voidaan riittävällä tarkkuudella matemaattisesti laskea. Täten estohäikäisyn vaikutus huomioidaan tie- ja katuvalaistuksessa.

Estohäikäisy syntyy siten, että häikäisylähteestä tulevat valonsäteet pirstoutuvat silmässä, mikä aiheuttaa näkökenttään aistimuksen, joka vastaa kirkkaan harson levittämistä näkökentän eteen. Ilmiötä kutsutaan harsoluminanssiksi. [6, s. 19–20; 9, s. 46]

Harsoluminanssi heikentää ajoradalla olevien kohteiden kontrastia, jolloin kohteiden havaitseminen on vaikeampaa. [9, s. 46] Harsoluminanssin vaikutusta kuvaamaan on otettu käyttöön TI-arvo (*threshold increment*), joka kertoo kuinka paljon kohteen kontrastia pitäisi prosentteina parantaa, jotta häikäisyn aiheuttama näkökyvyn heikkeneminen kompensoitaisiin. [7, s. 158] Toisin sanoen TI-arvo kertoo, kuinka monta prosenttia häikäisy huonontaa silmän kontrastinerotuskykyä. Kirjallisuudessa [2, s. 15] puhutaankin suhteellisesta silmän kontrastierotuskyvyn muuttumisesta.



Kuva 5. Estohäikäisy. [10]

2.3.5 Ympäristön valaistus (SR)

SR-arvo (*surround ratio*) kertoo miten hyvin ajoradan välitön ympäristö on valaistu. [7, s. 155; 11, s. 5] Ajoradan välittömän ympäristön riittävällä valaistuksella varmistetaan se, että myös ajoradan reunalla sijaitsevat kohteet näkyvät.

2.3.6 Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m

Ajoradan keskimääräinen valaistusvoimakkuus osoittaa ajoradan pinnalle, pinnan normaalin suuntaisesti, tulevan valon määrän pinta-alayksikköä kohden. Toisin kuin luminanssi, valaistusvoimakkuus ei kerro, miten kirkkaalta valaistu ajoradan pinta näyttää, joten ajoradan pintamateriaali ei merkittävästi vaikuta valaistusvoimakkuuteen. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on valovirta neliömetrille eli luks, $\text{lm/m}^2 = \text{lx}$. [7, s. 68]

Tie- ja katuvalaistuksessa valaistusvoimakkuutta käytetään määrittämään sellaisten konfliktialueiden (esimerkiksi kiertoliittymien) valaistustaso, joissa luminanssiperusteinen mitoitus ei ole käyttökelpoinen. Valaistusvoimakkuutta käytetään myös määrittelemään kevyen liikenteen väylien valaistustaso.

Kuten tässäkin työssä osoitetaan, myös luminanssiperusteisen tie- ja katuvalaistuksen vaatimustenmukaisuus voidaan todeta valaistusvoimakkuusmittauksin [2, s. 16].

2.4 Valaistusvaatimukset ja -luokat

Sen sijaan, että tie- ja katuvalaistuksella pyritäisiin luomaan täydelliset näköolosuhteet, on taloudellisesti kannattavampaa taata näkemiselle perusedellytykset. Perusedellytykset näkemiselle voidaan toteuttaa täyttämällä näkemisen vähimmäisvaatimukset. Koska näkötehtävät ovat erilaisia eri tilanteissa, riippuen esimerkiksi tienkäyttäjistä (ajoneuvon kuljettaja tai jalankulkija) tai tien luonteesta (vilkasliikenteinen moottoritie tai tonttikatu), myös vähimmäisvaatimukset ovat erilaisia. [8, s. 195–196]

Tätä varten on luotu valaistusluokkajärjestelmä, jota käyttämällä löydetään sopiva valaistustaso eli toisin sanoen valaistus, joka takaa riittävän näkö- ja havainnointikyvyn

kussakin tilanteessa. Valaistusluokkien tarkoitus on myös helpottaa ja johdonmukaistaa tie- ja katuvalaistuksen suunnittelua. Kun valaistusluokkia ajatellaan vähimmäisvaatimuksina, on helpompi ymmärtää, miksi valaistusvaatimusten noudattaminen on liikenneturvallisuuden kannalta tärkeää.

Tie- ja katuvalaistuksessa näkemisen vähimmäisvaatimukset koskevat luvussa 2.3 läpikäytyjä tekijöitä, ja valaistusluokasta riippuen niiden pitää täyttää tietty arvo. Arvot taas ovat alan kansainvälisten järjestöjen sopimuksia ja kompromisseja, jotka perustuvat lukuisiin näkemistä ja havainnointia käsitteleviin tutkimuksiin [11; 12]. Euroopan unionin jäsenmaissa noudatetaan standardissa EN 13201-2 ”*Road lighting - Part 2: Performance requirements*” [11] esitettyjä valaistusluokkia ja arvoja, mutta kansallisia poikkeuksia saattaa esiintyä. Suomessa käytetään AL-luokkia, jotka perustuvat standardiin SFS-EN 13201-2. AL-luokka tarkoittaa, että autoliikennettä koskevat valaistusvaatimukset ovat luminanssiperusteisia. Vaatimukset on esitetty taulukossa 1.

Valaistusluokan valintaa ohjaa Euroopan unionin jäsenmaissa CEN:n (Euroopan standardisointijärjestö, *European Committee for Standardization*) tekninen raportti CEN/TR 13201-1 ”*Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes*” [12], jota on sovellettu myös kansallisessa ”Tievalaistuksen suunnittelu” -ohjeessa [2]. Tie- ja katuvalaistuksen myönteiset vaikutukset saadaan aikaan soveltamalla ja noudattamalla oikeaa valaistusluokkaa, mikä tarkoittaa, että valaistusluokan jokaisen vaatimuksen tulee täyttyä. [8, s. 195–196]

Taulukko 1. Autoliikennettä Suomessa koskevat valaistusvaatimukset valaistusluokittain (AL-luokat). [2, s. 17]

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Esto- häikäisy	Ympäristön valaistus
	Kuiva			Märkä	TI % max	SR min
	L_m cd/m ² , min	U_o min	U_l min	U_o min		
AL1	2,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
AL4a	1,0	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL4b	0,75	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL5	0,5	0,4	0,4	0,15	15	0,5

3 Tie- ja katuvalaistuksen mittaaminen ja arviointi

Tie- ja katuvalaistuksen arvioinnin pohjana käytetään sekä silmämääräisiä havaintoja että valaistusmittauksista saatuja tuloksia. Silmämääräinen arviointi ei yksistään riitä arvosteluperusteeksi, sillä se perustuu pitkälti subjektiiviseen kokemukseen. Kaikkia valaistusteknisiä ominaisuuksia ei ole edes mahdollista havaita silmämääräisesti, jolloin pelkkää silmämääräistä arviointia ei voida käyttää.

Valaistusteknilliset mittaukset antavat riippumattoman lopputuloksen valaistuksen tilasta. Joskus myös mittaustulokset voivat olla moniselitteisiä, joten silmämääräisiä havaintoja on hyvä käyttää valaistusmittausten tukena oikeiden johtopäätösten tekemiseksi.

Tie- ja katuvalaistuksen valaistusteknillisten mittausten suorittaminen on määritelty ja ohjeistettu standardissa SFS-EN 13201-4 ”*Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance*” [13]. Luvussa 3.1 on kerrottu, mitä kyseinen standardi pääpiirteissään sisältää. Standardin sisällön esittelyn tarkoitus on tuoda esiin olennaisimpia asioita, joita tulee ottaa huomioon valaistusteknillisiä mittauksia tehdessä.

Tie- ja katuvalaistusta arvioidaan yleensä valaistusvoimakkuuden tai luminanssin avulla. Mittausmenetelmät ja -periaatteet vaihtelevat sen mukaan, kumpaa suuretta mitataan. Mittausmenetelmiin vaikuttaa lisäksi valaistusmittausten tarkoitus sekä se, käytetäänkö staattista vai dynaamista mittausjärjestelmää. Se, mitä suuretta milloinkin mitataan, riippuu siitä, mitä mittaukselta halutaan. Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksessa käytetään usein valaistusvoimakkuutta [2, s. 16; 6, s. 209].

Luvun 3.2 tarkoitus on eritellä valaistusvoimakkuus- ja luminanssimittauksen hyviä ja huonoja puolia, sekä kertoa, minkälaisiin mittaustarkoituksiin ne parhaiten soveltuvat. Samassa luvussa käsitellään lyhyehkösti myös dynaamisia valaistusmittauksia.

3.1 Standardi SFS-EN 13201-4 ”Tie- ja katuvalaistusmittaukset”

Tämän luvun tarkoitus on esitellä standardin SFS-EN 13201-4 olennaisimmat asiat, jotka liittyvät valaistusteknillisten mittausten suorittamiseen. Standardi on tällä hetkellä päivitettävänä, joten lukuun on sisällytetty tärkeimpiä asioita myös uusimmasta standardiluonnoksesta. Uusimman standardiluonnoksen sisältö on kerätty standardin valmistelutyöryhmään, CEN:n tekniseen komiteaan TC 169 (*Technical Committee*), kuuluvien henkilöiden haastatteluilla [14, 15].

3.1.1 Valaistusteknillisten mittausten tavoitteet ja päämäärät

Tie- ja katuvalaistuksen valaistusteknillisille mittauksille voi olla useampia lähtökohtia ja tavoitteita. Niitä ovat:

- yksittäiset valaistusmittaukset; esimerkiksi laadunvarmistusmittaukset valaistuksen vaatimustenmukaisuuden toteamiseksi,
- tietyin väliajoin toistuvat valaistusmittaukset; esimerkiksi elinkaarimittaukset, joiden avulla seurataan valaistustasojen muutosta ja mahdollista kunnossapidon tarvetta,

- jatkuvat valaistusmittaukset; esimerkiksi ajoradan pinnan luminanssimittaukset ohjausparametrina muuttuvan tievalaistuksen tarpeisiin ja
- tutkimusmielessä tehdyt valaistusmittaukset; esimerkiksi lumisen tienpinnan luminanssimittaus.

Olennaista on huomata, että edellä mainitut eri mittaustilanteet ovat mittaussjärjestelyiltään, vaatimuksiltaan ja rajoituksiltaan erilaisia.

Laadunvarmistusmittauksissa mitattuja arvoja verrataan laskennallisiin arvoihin, jolloin valaistusteknilliset laskennat ja valaistusteknilliset mittaukset tulee suorittaa samojen määrittelyjen mukaan. Pääasiassa määrittelyt koskevat mittauspisteverkkoa (ks. luku 5.4) ja luminanssimittausten tapauksessa myös katsojan sijaintia. Standardin SFS-EN 13201-4 mukaisia tie- ja katuvalaistusmittauksia tehdessä on tärkeää, että mittaussparametrit vastaavat standardissa SFS-EN 13201-3: ”*Road lighting - Part 3: Calculation of performance*” [16] määritellyjä tie- ja katuvalaistuksen valaistusteknillisiä laskelmia.

Seurantamittauksissa, joissa mittaustuloksia verrataan edellisiin tuloksiin, on huomioitava, että mittaukset tulee aina suorittaa samalla tavalla mittaustulosten keskinäisen vertailtavuuden säilyttämiseksi.

Absoluuttisia arvoja mitattaessa tarkoitukseen sopivien ja kalibroitujen mittausslaitteiden käyttö on tärkeää.

Kun valaistusmittausta käytetään muuttuvan valaistuksen ohjausparametrina, on mielekkäämpää tutkia valaistustason suhteellista muutosta kuin absoluuttisia arvoja. Tällöin esimerkiksi mittalaitteen tarkka kalibrointi ei ole välttämätöntä. Vaikka tarkat absoluuttiset arvot olisivatkin tässä tapauksessa toisarvoisia, tulee mittalaitteen olla tarkoitukseen sopiva sekä lineaarinen. Mittausmenetelmä on pidettävä samanlaisena.

3.1.2 Edellytykset valaistusmittauksille

Purkauslamppujen tapauksessa tulee ennen uuden valaistuskohteen mittaamista varmistua siitä, että lamppuja on poltettu tarpeeksi kauan. Uusilla purkauslampuilla valovirran asettuminen oikeaan arvoon vaatii tietyn kokonaispolttoajan. Riittävä polttoaika purkauslampuille on määritelty standardissa SFS-EN 13032-1 ”*Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires - Part 1: Measurement and file format*” [17]. Yleisimmin esiintyville purkauslampputypeille eli lähinnä suur- ja pienpainenatrium-, monimetalli- ja elohopealampuille tarvittava kokonaispolttoaika on 100 tuntia [17]. Purkauslampun syttyessä valovirran asettuminen oikeaan arvoon kestää yleensä muutamasta minuutista kymmeneen minuuttiin [18].

Valovirran pysyvyyttä voidaan valvoa referenssimittauksella, jos valovirran pysyvyys on epävarmaa. Mittauskohteessa voidaan käyttää valaistuksen ohjausta ja säätöä (esimerkiksi himmennys), jolloin lamppujen tai ledien valovirta voi muuttua kesken mittausten. Valaistuksen ohjaus- ja säätötapa sekä niiden kellonajat tulee selvittää ennen mittauksia.

Valaistusolosuhteita voivat vääristää valaistusjärjestelmään kuulumattomat valonlähteet eli häiriövalo. Häiriövaloa voi olla pientareelle auratusta lumesta heijastunut valo, kuun valo, taivaan hajavallo, ajoneuvojen valot, varsinkin taajama-alueilla erilaiset

mainoskyltit, kauppojen ikkunat sekä rakennusten, pihojen, työmaiden, parkkialueiden ja urheilukenttien valaisimet. Jos häiriövaloa ei voi eliminoida, voidaan sen suuruus mitata sammuttamalla varsinainen valaistus.

Valaistusmittausten aikana tulee varmistua siitä, että mitattavien valaisimien valo pääsee esteettä valoanturille. Tämä tarkoittaa sitä, että varjoisia alueita ja varjojen muodostamista tulee välttää. Mittaaja ei saa aiheuttaa varjoa valoanturille. Muita usein esiintyviä esteitä tie- ja katuymäristössä ovat puut, pysäköidyt autot, liikennemerkkit ja muut tie- ja katukalusteet.

Ajoradan pinnan luminanssia mitattaessa pienikin kosteus tai lumi ajoradan pinnalla vaikuttaa merkittävästi pinnan heijastusominaisuuksiin. Vastaavasti valaistusvoimakkuusmittauksen tapauksessa vasta voimakas vesi- tai lumisade vaikuttaa valonsäteiden etenemiseen.

Lämpötilan vaikutusta mittaustuloksiin tulee arvioida tapauskohtaisesti. Esimerkiksi eri mittalaitteet reagoivat erilailla lämpötilan muutoksiin.

Kaikkien edellä mainittujen tekijöiden kirjaaminen muistiin mittausten aikana parantaa mittaustulosten luotettavuutta ja helpottaa tulosten analysointia.

3.1.3 Mittausolosuhteet ja -ympäristö

Etenkin laadunvarmistusmittauksissa tulee mitattavasta kohteesta kirjata ylös seuraavat asiat:

- pylväsväli
- valaisimien asennuskorkeus
- valaisinpylväiden etäisyydet ajoradan reunaan ja valopisteen sijainti
- valaisinvarsien pituudet
- valaisimien ja valaisinvarsien suuntaukset, ja valaisinpylväiden asennot
- valaisin- ja valonlähde tyytit
- jännite ja virta
- ajoradan ja -kaistojen leveys
- luminanssimittauksia varten ajoradan päällyste

Yllä mainittuja tietoja tarvitaan mittauskohdetta vastaavan valaistuslaskentatilanteen muodostamisessa.

Ajoradan ja -kaistojen leveys, pylväsväli ja valaisinpylvään etäisyys ajoradan reunasta voidaan helposti selvittää mittaamalla. Valaisimien ja valaisinvarsien suuntaus sekä valaisinpylväiden asennot on yleensä arvioitava silmämääräisesti. Jännitemittauksella varmistetaan, ettei mahdollinen jännitteenalenema vaikuta merkittävästi valovirtaan ja siten mittaustuloksiin. Jännite- ja virtamittauksen avulla todetaan, että valaisin toimii oikealla teholla.

3.1.4 Mittalaitteet ja mittaustoimenpiteet

Valaistusmittaukset tulee suorittaa tarkoitukseen soveltuvalla ja kalibroidulla mittalaitteella. Ohjeita mittalaitteiden valintaan on annettu standardissa SFS-EN 13032 [17] ja CIE:n (Kansainvälinen valaistuskomissio, *International Commission on*

Illumination) julkaisussa 69:1987 ”*Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters*” [19].

Ajoradan pinnan valaistusvoimakkuutta mitattaessa tulee valoanturi asettaa ajoradan pinnan suuntaisesti. Ulkovaistuksessa mitatut suureet ovat pieniä, joten valoanturin pienikin kallistuminen vaikuttaa yksittäiseen mittaustulokseen. Valoanturin tulee sijaita ajoradan pinnalla. Valaistusvoimakkuusmittauksessa on hyvä käyttää erillistä mittapäätä, jolloin riski mittaajasta aiheutuvalle varjolle vähenee.

Luminanssimittauksessa tulee varmistua siitä, että ajoradan pinta on kuiva. Pienikin kosteus muuttaa pinnan luminanssia merkittävästi. Päällysteen huomioiminen koskee myös esimerkiksi suojatiealueita, öljyisiä tai muita likaisia alueita ajoradalla. Lisäksi on huomioitava, että päällysteiden heijastusominaisuudet muuttuvat ajan myötä. Myös luminanssimittauksessa on kiinnitettävä huomiota luminanssimittarin sijaintiin ja suuntaukseen.

Standardin SFS-EN 13201-4 mukaisissa valaistusmittauksissa mittauspisteverkko on standardin SFS-EN 13201-3 mukainen. Mittauspisteverkko voi olla myös joku muu, jos tilaajaosapuolet niin sopivat. Luminanssimittauksissa myös myös luminanssimittarin suuntaus ja sijoitus tulee olla standardin SFS-EN 13201-3 mukainen.

3.1.5 Virhelähteet ja -epävarmuusanalyysi

Kuten missä tahansa mittauksissa, myös valaistusmittauksissa on tärkeää tunnistaa mittauksen virhelähteet. Yhtä tärkeää on määritellä niiden suuruus, jotta niiden vaikutusta mittaustuloksiin voidaan arvioida. Yleisimpiä virhelähteitä ovat:

- mittalaitteiden mitta- ja lukemataarkkuus,
- mittaamenetelmän vaikutukset (esimerkiksi mittauspisteverkon koordinaattien määrittäminen, valaistusvoimakkuusmittarin valoanturin tai luminanssimittarin asento),
- mittaustulosten jatkokäsittely (pyöristäminen, huolimattomuusvirheet),
- valaisinasennuksiin ja niiden tunnistamiseen liittyvät epävarmuudet,
- jännitteen ja virran vaihtelu,
- sääolosuhteet ja
- ympäristön olosuhteet (esimerkiksi varjot ja häiriövalo).

Epävarmuusanalyysi on haastavaa, koska virhelähteiden vaikutus on yleensä arvioitava tapauskohtaisesti. Lisäksi kaikille virhelähteille absoluuttisen arvon antaminen ei aina ole mahdollista.

Erityisesti laadunvarmistusmittauksissa huomioitavia virhelähteitä ja mittauserävarmuutta on pohdittu luvussa 5.5.

3.1.6 Mittauspöytäkirja

Selkeä mittauspöytäkirja nopeuttaa tulosten ja havaintojen kirjaamista sekä helpottaa tulosten analysointia. Mittauspöytäkirjaan tulee kirjata mieluummin liikaa kuin liian vähän asioita. Mittauspöytäkirjasta tulee löytyä:

- havainnot mittauskohteesta ja -ympäristöstä (ks. luku 3.1.3),
- tiedot mittalaitteesta mittaustarkkuuksineen,
- lyhyt selostus mittaamenetelmästä,

- listaus virhelähteistä ja virheanalyysi, sekä
- mittaustulokset virherajoihin.

3.2 Tie- ja katuvalaistuksen eri arviointimenetelmiä

3.2.1 Valaistusvoimakkuusmittaus

Huolimatta siitä, ettei ihmissilmä voi suoraan aistia valaistusvoimakkuutta, on se usein käytetty suure valaistuksen mitoituksessa ja valaistustason määrittelyssä. Sisävalaistussovelluksissa valaistusvaatimukset ja -suositukset perustuvat valaistusvoimakkuuteen, jolloin laadunvarmistus on luontevaa suorittaa valaistusvoimakkuusmittauksella. Tie- ja katuvalaistuksessa mitoitettava tekijä on ajoradan pinnan luminanssi. Luminanssimittaus ei kuitenkaan sovellu laadunvarmistukseen (ks. luku 3.2.2), joten myös tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksessa käytetään usein valaistusvoimakkuusmittausta [2, s. 16; 6, s. 209–213].

Valaistusvoimakkuusmittauksen tärkeimmät edut ovat käytännöllisyys ja nopeus. Valaistusvoimakkuusmittaus ei tarvitse erikoisia esivalmisteluja tai lisävälineitä. Menetelmä ei ole juurikaan virhealtis, kunhan mittalaite on tarkoitukseen soveltuva ja kalibroitu. Valaistusvoimakkuuden mittaus onnistuu sujuvasti kohtalaisen vilkasliikenteisilläkin maanteilla ja kaduilla, joten ajoratoja ei välttämättä tarvitse sulkea mittauksen ajaksi. Valaistusvoimakkuusmittarit ovat lisäksi edullisia verrattuna luminanssimittareihin. [20, s. 22, 56]

Ajoradan pinnan valaistusvoimakkuuden riippuvuus sääolosuhteista on pienempi kuin luminanssin. Ajoradan pinnalle tuleva valon määrä on käytännössä yhtä suuri riippumatta siitä, onko ajoradan pinta märkä tai kuiva. Vasta voimakas vesi- tai lumisade voi vaikuttaa valon kulkuun niin, että valaistusvoimakkuutta ei voida luotettavasti mitata. Ajoratojen reunoille kerääntynyt lumi voi myös aiheuttaa ylimääräisiä heijastuksia, jotka vääristävät mittaustuloksia.

Valaistusvoimakkuuden mittaus on nopeaa ja yksinkertaista. Kun valoanturi on asetettu haluttuun mittauspisteeseen, voidaan tulos lukea mittarin näytöstä. Valoanturi tulee asettaa tarkasti ajoradan pinnan suuntaisesti (myös esimerkiksi ylä- tai alamäen tapauksessa) [21, s. 63]. Yksinkertaisimmin valoanturi saadaan oikeaan asentoon kiinnittämällä valoanturi aluslevyyn, joka asetetaan ajoradan suuntaisesti.

3.2.2 Luminanssimittaus

Tie- ja katuvalaistuksen luminanssimittauksella tutkitaan ajoradan pinnasta heijastuneen valon määrää. Luminanssimittauksen avulla saadaan käsitys siitä, miten ihmissilmä todellisuudessa havaitsee ajoympäristön eri tilanteissa. Koska tie- ja katuvalaistuksen valaistusvaatimukset perustuvat luminanssiin, voidaan luminanssimittauksen avulla tutkia valaistusvaatimusten täyttymistä eri tilanteissa [6, s. 209].

Luminanssimittaus ei kuitenkaan sovellu laadunvarmistukseen, jossa mitattuja arvoja ja laskennallisia arvoja vertaillaan keskenään. Pinnan luminanssin riippuvuus pinnan heijastusominaisuuksista hankaloittaa mitattujen ja laskennallisten arvojen keskinäistä vertailua.

Valaistusteknisessä laskennassa käytetään yleensä teoreettista päällystettä, jonka heijastusominaisuudet ovat samanlaiset kaikkialla. Todellisuudessa ajoradan päällysteen ominaisuudet poikkeavat aina hieman teoreettisesta. Lisäksi päällysteen heijastusominaisuudet muuttuvat ajan myötä päällysteen kuluessa. Myös sää vaikuttaa voimakkaasti ajoradan heijastusominaisuuksiin. Esimerkiksi märkä tai luminen ajorata heijastaa valoa eri tavalla kuin kuiva ajorata. Jo pienikin ajoradan kosteus tai epäpuhtaus, esimerkiksi öljyroiske, vaikuttaa merkittävästi ajoradan heijastusominaisuuksiin.

Ajoradan pinnan luminanssi on riippuvainen myös pinnan katselukulmasta. Tämä tarkoittaa sitä, luminanssimittari on asennettava samalle korkeudelle ja yhtä etäälle mittausalueesta kuin valaistusteknisessä laskennassa on määritelty. Lisäksi luminanssimittari on kohdennettava oikeassa kulmassa jokaiseen mittauspisteeseen. Laskentapisteitä vastaavien mittauspisteiden määrittäminen tarkasti on maastossa hankalaa.

Kuvantavan luminanssifotometrin (ILMD, *image luminance measuring device*) käyttö on vaivattomampaa kuin perinteisen luminanssimittarin, mutta edellä mainitut ongelmat säilyvät.

Edellä mainittujen tekijöiden perusteella luminanssimittaus on virhealtis ja epäkäytännöllinen mittausmenetelmä laadunvarmistuksen tarpeita varten. Jotta luminanssimittauksista voitaisiin käyttää laadunvarmistuksessa, tulee ajoradan pinnan heijastusominaisuudet ja ympäristön olosuhteiden vaikutukset tuntea mittaushetkellä tarkasti.

3.2.3 Dynaamiset valaistusmittaukset

Dynaamisilla valaistusmittauksilla tarkoitetaan valaistusmittausjärjestelmää, joka liikkuu. Mitattava suure on yleensä valaistusvoimakkuus tai luminanssi. Dynaamisiin valaistusmittauksiin liittyy yleensä myös jonkinlaista automaatiikkaa. [20, s. 5–6]

Dynaamisten valaistusmittausten etuna on nopeus ja tehokkuus. Kun mittaus on nopeaa, voidaan mittauksen määrää kasvattaa. Nopeus mahdollistaa myös mittauspisteiden lisäämisen, jolloin mittauksen tulos on kattavampi.

Dynaamisten valaistusmittausten haittapuolena on mittausjärjestelmän monimutkaisuus. Monimutkaisuus tarkoittaa usein sitä, että mittausjärjestelmä on kallis. Investoinnin hinta tekee sen hankkimisesta epähoukuttelevaa. Lisäksi monimutkainen järjestelmä vaatii käyttäjältään perehtyneisyyttä. Yleensä se tarkoittaa erillisen asiantuntijan apua, mikä lisää kustannuksia entisestään.

Dynaamisen valaistusmittausjärjestelmän ominaispiirteet vaihtelevat riippuen siitä, mitataanko valaistusvoimakkuutta vai luminanssia. Dynaamisessa valaistusmittauksessa on mielekästä käyttää jonkinlaista ajoneuvoa tai ajoneuvoyhdistelmää, johon mittalaitteet on kiinnitetty. Dynaamisissa valaistusmittauksissa suurimmat haasteet liittyvät mittalaitteen suuntaukseen, mittausalueen määrittelyyn ja ajonopeuden sovittaminen mittaussuorituksen. Ajoneuvosta aiheutuva värinä tai ajoradan kuopat voivat muuttaa mittalaitteen asentoa. Ajoneuvo voi mutkitella kulkureitillä, jolloin mittaalue vääristyy. Lisäksi mittalaitteen vaatima mittausaika voi rajoittaa ajonopeutta. [20, s. 37, 55–80]

Edellä mainittujen seikkojen vuoksi dynaaminen valaistusmittausjärjestelmä voi olla hyvinkin virhealtis. Sen vuoksi dynaamiset valaistusmittaukset eivät sovellu tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistukseen.

4 Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistus Suomessa: kysely ja havainnot

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksen nykytilannetta ja siihen liittyviä haasteita kartoitettiin muutamalle suurimmalle julkisille valaistusurakoiden tilaajataholle suunnatun kyselyn avulla. Kysely tehtiin seuraaville tahoille: Liikennevirasto ja ELY-keskukset, Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki, Lahden kaupunki, Tampereen kaupunki, Turun kaupunki ja Vantaan kaupunki. Kyselyn lisäksi tietoja kerättiin tie- ja katuvalaistualan asiantuntijoiden haastatteluilla [14, 15, 22]. Lukuun on myös kirjattu tämän työn valaistusmittauksissa ilmenneitä havaintoja.

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksen kannalta oleellisessa osassa ovat infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL), jotka määrittelevät valaistusurakan työtapojen, välineiden ja lopputuloksen laadulliset tavoitteet. Infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia on käsitelty tässä luvussa sillä laajuudella kuin se tämän työn kannalta on oleellista.

4.1 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL)

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset InfraRYL on vuonna 2006 ensimmäistä kertaa julkaistu teos, joka on infra-alan yhteinen kuvaus infrarakenteiden ja -rakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista. InfraRYL:n tarkoitus on työlle ja käytettäville materiaaleille asetetuilla laatuvaatimuksilla ja toleransseilla varmistaa, että lopputuotteella on tietty rakennustekninen laatu. Yleiset laatuvaatimukset on laadittu monien infra-alan asiantuntijoiden, järjestöjen, toimikuntien ja yritysten yhteistyöllä. Laatuvaatimukset perustuvat muun muassa standardeihin, edellä mainittujen tahojen laatimiin aikaisempiin laatuvaatimuksiin tai työkohtaisiin laatuvaatimuksiin sekä näiden kaikkien pohjalta muodostuneeseen käsitykseen hyvästä rakennustavasta. [1, s.11]

InfraRYL ilmestyi alun perin kahdessa osassa, joista jälkimmäisessä, vuonna 2009 ilmestyneessä, osassa ”Järjestelmät ja täydentävät rakenteet” määritellään myös valaistusurakoiden ja -asennuksien laatuvaatimukset. Tämän työn kannalta oleellinen InfraRYL:n luku on ”33631.4 Valmis valaisinasennus”, jossa määritellään menetelmä valmiin valaistusasennuksen oikeellisuuden todentamiseen valaistusteknillisten mittausten avulla. Laadunvarmistusmenetelmä noudattaa luvun 5.2 periaatteita. Menetelmä on kuvattu tarkemmin luvussa 5.4.2.

Valaistusurakan asiakirjoissa vaaditaan nykyään lähes poikkeuksetta infrarakentamisen yleisten laatuvaatimusten noudattamista. Se edellyttää valmiin valaistusasennuksen tarkastamista valaistusteknillisin mittauksin.

4.2 Nykyiset arviointimenetelmät

Silmämääräinen tarkastus on kyselyn perusteella yleisin tapa määritellä valaistusurakan lopputuloksen laatu. Tarkastuksia tehdään työmaavalvonnan yhteydessä, jolloin voidaan puuttua esimerkiksi liian suuriin pylväsväleihin. Urakan valmistuttua silmämääräisellä tarkastelulla puututaan lähinnä valaisimien suuntaukseen liittyviin ongelmiin.

Kysely ja havainnot osoittavat, että valaistusmittauksia tehdään harvoin tai useimmiten ei koskaan. Valaistusmittauksia suoritetaan lähinnä suurimpien hankkeiden yhteydessä.

Suurin syy mittausten pois jättämiseen vaikuttaa olevan kustannukset. Taustalla voi myös olla tarkoituksellinen laatuvaatimuksista tinkiminen. Vaikka laadunvarmistusmittauksia vaadittaisiin, ei niitä välttämättä tehdä. Syitä voivat olla urakoitsijan tietämättömyys, taidottomuus ja välinpitämättömyys.

Joidenkin valaistusteknillisten tekijöiden, esimerkiksi tasaisuuden, puutteita voidaan havaita silmämääräisesti. On muistettava, että silmämääräiset havainnot ovat subjektiivisia, joten silmämääräiset havainnot eivät välttämättä ole riittävä peruste valaistusasennuksen hylkäämiselle tai hyväksymiselle. Suurin osa tähänastisista valaistusmittauksista on tehty silloin, kun valaistuksen lopputuloksen on huomattu olevan puutteellinen. Puutteet on perusteltu mittaustulosten avulla. Silmämääräisillä havainnoilla on kuitenkin haastavaa arvioida valaisimen valonjakoa ja keskimääräistä luminanssia.

Sähkötekniset vaatimukset velvoittavat urakoitsijan tekemään käyttöönottotarkastuksen, joka sisältää muun muassa kaapeleiden oikosulku- ja eristysvastusmittaukset. On muistettava, että sähkötekniikan vaatimusten täytyminen ei tarkoita, että valaistustekniset vaatimukset täyttyisivät.

4.3 Tavallisimmin esiintyvät puutteet tie- ja katuvalaistusasennuksessa

Useimmiten tie- ja katuvalaistuksen valaistustekniset puutteet ovat seurausta huolimattomasta pylväs- ja valaisinasennuksesta. Huolimaton asennustyö ilmenee muun muassa valaisinympäristöjen vinoutena sekä puutteina valaisinvarsin ja valaisimien suuntauksessa. Valaisinvarret eivät ole kohtisuorassa ajoradan pitkittäissuuntaa vastaan ja valaisimet ovat kiertäneet vartensa ympäri. Valaisimien, valaisinvarsin ja valaisinympäristöjen väärä asento aiheuttaa luminanssikuvion vääristymisen ajoradan pinnalla, mikä heikentää valaistuksen laatua. Asennusvirheet lisäävät myös häikäisyä.

Valaisinympäristöjen paikat ajoradan pitkittäissuunnassa ovat usein rakennussuunnitelman mukaisia maanteiden tapauksessa. Ainoastaan valaisinympäristöjen etäisyys ajoradan reunaan saattaa poiketa suunnitellusta. Poikkeama on kuitenkin usein systemaattinen eli hankekohtaisesti kaikki valaisinympäristöt sijaitsevat yhtä etäällä ajoradan reunasta.

Maanteillä pysytään helpommin suunnitelluissa pylväsväleissä, mutta taajamissa valaisinympäristöjen sijoittaminen ahtailla kaduilla voi olla haastavaa. Katuympäristössä valaisinympäristöjen paikkaa saatetaan joutua muuttamaan, ja joskus se tehdään ilman tilaajan hyväksyntää.

Havainnot osoittavat, että asennetuissa valaisimissa voi silloin tällöin olla väärä valonjako. Valaisimet tulevat työmaalle usein valaisimien oletusvalonjaolla (lampun asento ”tehdasasetuksessa”), jolloin lampun asento voi jäädä muuttamatta suunnitelman mukaiseksi. Valaistustuotteiden tilaustiedot ja -tunnisteet voivat olla monimutkaisia, jolloin riski väärin tuotteiden asentamisesta kasvaa. Varsinkin LED-valaisimien osalta valonjako ei ole enää jälkikäteen muunnettavissa, joten tuotteiden vaihtamisesta saattaa muodostua vaivalloinen ja kallis tehtävä. Purkauslamppuvalaisimien tapauksessa valonjaon korjaaminen jälkikäteen valaisinympäristöjen päässä on kalliimpaa kuin tuotteen huolellinen tarkastaminen asennusvaiheessa maan tasalla.

LED-valaisimia markkinoidaan paljon, ja niiden ominaisuuksia saatetaan joskus liioitella. Esimerkiksi valovirta saattaa todellisuudessa olla luvattua pienempi, jolloin ajoradalle ei tule niin paljon valoa kuin valaistusteknillinen laskenta antaa olettaa.

Erityisesti purkauslamppuvalaisimien tapauksessa heijastin on yksi tärkeimmistä valaisimen komponenteista. Kuten missä tahansa valaisimen komponentissa, myös heijastimessa voi olla valmistusvirheitä. Heijastinmateriaalin ominaisuudet vaikuttavat olennaisesti valaisimen valonjakoon, jolloin virheellinen heijastin vaikuttaa merkittävästi valaistuksen lopputulokseen.

Lamppujen tuottama valovirta on erittäin riippuvainen jännitteestä ja virrasta. Jännitteenalenemat ovat mahdollisia erityisesti kytkentäryhmän lopussa. Lisäksi pylväsvälin valaisimet ovat yleensä kytketty eri vaiheille, jolloin mahdollinen vaihekohtainen vika vaikuttaa vain toiseen valaisimeen.

Omalta osaltaan valaisimen jännitteeseen ja virtaan vaikuttaa jatkuvasti yleistyvä valaistuksen ohjaus ja säätö. Pienikin ohjaus- ja säätöjärjestelmän kytkentä- tai toimintavirhe voi vaikuttaa lampun tuottamaan valovirtaan, jolloin valaistustaso heikkenee.

Kyselyn perusteella valaistussuunnittelijan tekemiin valaistusteknillisiin laskentojen oikeellisuuteen luotetaan, sillä niihin liittyvistä puutteista ei mainittu lainkaan. Havaintojen perusteella niistäkin löytyy joskus puutteita. Yleisimmin puutteet liittyvät alenemakertoimen määrittämiseen sekä määrän päällysteen laskentatuloksen puuttumiseen. Valaistusteknillisten laskentojen puutteet voivat liittyä myös asennusteknisiin rajoituksiin siten, että laskenta tehdään esimerkiksi sellaisella asennuskulmalla, johon valaisinta ei ole mahdollista asentaa. Valaistusteknillisessä laskennassa tulee myös huomioida se, että lampun koko vaikuttaa valaisimen valonjakoon. Yleensä lampun koko kasvaa lampun tehon kasvaessa. Tällöin esimerkiksi 150 watin lampulla varustetun valaisimen valonjako ei vastaa saman valaisimen valonjakoa 400 watin lampulla. Vaikka valaistusteknillinen laskenta ei ole asennustekninen tekijä, tulee se ehdottomasti sisällyttää laadunvarmistukseen.

5 Laadunvarmistusmenetelmän kehittäminen

Tässä työssä kehitettävä laadunvarmistusmenetelmä on paranneltu versio nykyisistä laadunvarmistusmenetelmistä. Parannetussa laadunvarmistusmenetelmässä yhdistetään nykyisin käytössä olevien menetelmien hyvät puolet sekä korjataan tämän hetkisiä puutteita. Parannetun laadunvarmistusmenetelmän periaatteet ja lähtökohdat on esitetty luvussa 5.1.

Nykyisille tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmille on yhteistä se, että ne perustuvat valaistusvoimakkuusmittaukseen, jonka soveltuvuutta laadunvarmistukseen pohdittiin luvussa 3.2. Siten myös parannettu laadunvarmistusmenetelmä perustuu valaistusvoimakkuuden mittaamiseen. Laadunvarmistusmenetelmien periaatteet on selostettu luvussa 5.2.

Luvun 4 tulosten perusteella laadunvarmistuksen toimintamalli on tarpeen ulottaa valaistusteknillisten mittausten lisäksi myös suunnitelma-aineiston tarkasteluun. Luvussa 5.3 kerrotaan, miten valaistussuunnitelma tulee huomioida laadunvarmistuksessa.

Eri laadunvarmistusmenetelmät eroavat toisistaan yleensä vain mittauspisteverkon osalta. Luvussa 5.4 esitellään kolme erilaista mittauspisteverkkoa ja niiden ominaisuuksia. Mittauspisteverkkojen ominaisuuksia tutkittiin myös tässä työssä tehtyjen laadunvarmistusmittausten avulla (luku 6). Parannetun laadunvarmistusmenetelmän mittauspisteverkko koostuu näiden mittauspisteverkkojen parhaista ominaisuuksista.

Varsinaisten mittausten lisäksi yhtä tärkeää on mittaustulosten oikea tulkinta. Luotettavien mittaustulosten saamiseksi ja oikeiden johtopäätösten tekemiseksi pohditaan luvussa 5.5 valaistusmittauksissa esiintyviä virhelähteitä sekä niiden vaikutusta mittaustuloksiin.

Mittaustulosten analysointia voidaan helpottaa tutkimalla tiettyjä mittaustuloksista johdettavia tunnuslukuja. Niitä on pohdittu luvussa 5.6.

Mittaustulosten analysointia helpottaa lisäksi se, jos tiedetään, miten tietyt asennusvirheet yleensä ilmenevät mittaustuloksista. Luvussa 5.7 on teoreettisin valaistusteknillisin tarkasteluin tutkittu, miten eri asennusvirheet ovat havaittavissa mittaustuloksista.

5.1 Parannetun laadunvarmistusmenetelmän lähtökohdat

Tie- ja katuvalaistuksen laatu määritellään tässä työssä seuraavasti:

- Valaistuksen vaatimustenmukaisuus on osoitettu valaistusteknillisin laskelmin.
- Kun valaistusasennus on suunnitelmien mukainen, valaistuksen lopputuloksen oletetaan olevan vaatimusten mukainen.

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvalvonnan avulla varmistetaan seuraavat asiat:

- Valaistusteknilliset laskennat täyttävät valaistusvaatimukset.
- Valaistusasennus on suunnitelmien ja työkohtaisten laatuvaatimusten mukainen.

Tässä työssä kehitettävän parannetun tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmän tavoitteena on tarjota tehokkaat keinot yllä mainittujen asioiden tutkimiseen. Tarkoituksena on noudattaa luvussa 5.2 esitettäviä periaatteita, mutta tehostaa nykyisiä menetelmiä. Esimerkiksi luvun 4 havaintojen perusteella myös valaistussuunnitelmat voivat sisältää virheitä, joten laadunvarmistus tulee ulottaa laajemmalle kuin pelkästään valaistusteknillisiin mittauksiin.

Laadunvarmistuksessa tulee huomioida myös jatkotoimenpiteet ja vastuukysymykset suunnittelu- tai urakointivirheen paljastuessa. Tähän asiaan ei kuitenkaan tässä työssä oteta kantaa vaan se jää sopimusosapuolien ratkaistavaksi tapauskohtaisesti.

Koska valaistusurakointi mielletään useasti sähköurakoinniksi, on huomioitava, että tässä työssä keskitytään ainoastaan valaistusteknillisten ominaisuuksien tarkastelemiseen. Valaistusteknillinen laadunvarmistus ei ota kantaa sähkötekniikan vaatimusten toteutumiseen. Sähköasennusten lopputarkastuksen tarkoitus on varmistaa sähköasennusten turvallisuus, kun taas valaistusteknillisen laadunvarmistuksen tavoite on varmistaa myönteiset liikenneturvallisuusvaikutukset. Koska valaistusurakoinnin toteuttaa yleensä sähköurakoitsija, on vaarana, että sähkötekniikan vaatimusten täytyessä oletetaan virheellisesti myös valaistusvaatimusten täyttyvän.

5.2 Nykyisten laadunvarmistusmenetelmien periaatteet

Kuten aiemmin todettiin, tie- ja katuvalaistusvaatimukset ovat luminanssiperusteisia, mutta luvussa 3.2.2 esitettyjen tekijöiden perusteella luminanssin mittaukseen liittyy monia ongelmia. Lisäksi ajoradan pinnan luminanssi riippuu ajoradan pinnan heijastusominaisuuksista, mutta valaistussuunnittelija tai -urakoitsija ei yleensä voi vaikuttaa ajoradan päällysteen lopullisiin ominaisuuksiin. Siksi tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksessa on luontevaa keskittyä tutkimaan sitä, että valon määrä ja sen jakautuminen ajoradan pinnalla on suunnitelmien mukainen.

Valon määrää ja sen jakautumista ajoradan pinnalla voidaan tutkia valaistusvoimakkuuden avulla [6, s. 209]. Ajoradan pinnan luminanssi tietyssä pisteessä on johdettavissa saman pisteen valaistusvoimakkuudesta, kun pinnan heijastusominaisuudet tiedetään. Koska luminanssi ja valaistusvoimakkuus korreloivat tällä tavoin, voidaan luminanssijakauma olettaa oikeaksi, jos valaistusvoimakkuusjakauma todetaan oikeaksi [6, s. 209].

Täten valaistusvoimakkuutta voidaan luotettavasti käyttää tie- ja katuvalaistuksen arvioinnissa. Lisäksi luvussa 3.2.1 esitettyjen tekijöiden perusteella valaistusvoimakkuusmittaus soveltuu erityisen hyvin laadunvarmistusmittauksiin. Tästä johtuen nykyiset tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmät perustuvat valaistusvoimakkuusmittaukseen. Valaistusvoimakkuusmittausta käytetään myös tämän työn laadunvarmistusmenetelmässä.

Laadunvarmistusmittauksissa mitattuja valaistusvoimakkuusarvoja verrataan vastaaviin laskennallisiin valaistusvoimakkuusarvoihin. Koska tie- ja katuvalaistuksen

valaistusvaatimukset perustuvat luminanssiin, ei valaistusvoimakkuusmittausten tuloksia voida suoraan vertailla alkuperäiseen luminanssiin perustuvan mitoituskannan tuloksiin. Laadunvarmistusmittauksissa mittauskohdetta (pylväsväliä) vastaavalle tilanteelle lasketaan tietyissä pisteissä valaistusvoimakkuusarvot. Valaistusvoimakkuusarvot mitataan mittauskohteen (pylväsvälin) vastaavissa pisteissä, jolloin laskennallisia ja mitattuja valaistusvoimakkuusarvoja voidaan vertailla keskenään. [6, s. 209–210]

Mittauspisteverkko määrittelee, missä pisteissä valaistusvoimakkuudet lasketaan ja mitataan. Eri laadunvarmistusmenetelmät eroavat toisistaan lähinnä mittauspisteverkon osalta (ks. luku 5.4).

Tulosten vertailukelpoisuuden vuoksi on erittäin tärkeää, että laskentatilanne vastaa tarkasti mittauskohdetta (pylväsväliä). Tämä tarkoittaa sitä, että valaistusteknisessä laskennassa pylväsväli, ajoradan ja ajokaistojen leveydet ja valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunasta ovat mittauskohteen (pylväsvälin) mukaisia. Valaisintyyppi, valaisimien valonjako, valovirta, valaisimien suuntaus ja valopisteen sijainti (tähän vaikuttaa valaisintyyppi, valaisinvarren pituus ja valaisinpylvään etäisyys ajoradan reunasta) valitaan valaistuksen rakennussuunnitelman mukaan.

Olennaista on myös se, että laskentapistet vastaavat mittauspisteitä.

Koska laskentatilanteen tulee vastata mittauksilannetta, tulee myös laskennassa käytettävän valovirran aleneman vastata todellisuutta. Valovirran alenemaan vaikuttaa valonlähteen ikä sekä valaisimien likaantuminen. Koska aleneman suuruus voidaan tietää varmuudella ainostaan uusien valaistusasennuksien tapauksessa, sopii tässä esitetty valaistusvoimakkuusmittaukseen perustuva laadunvarmistusmenetelmä uusien valaistusasennuksien laadunvarmistukseen. Valovirran alenemakerroin uusissa valaistusasennuksissa on aina 1.

Jos mitatut ja laskennalliset valaistusvoimakkuusarvot vastaavat toisiaan riittävän hyvin, voidaan myös luminanssiarvot olettaa oikeiksi. Siten myös valaistusasennus voidaan olettaa suunnitelmien mukaiseksi. Jos mitatut valaistusvoimakkuusarvot poikkeavat laskennallisista, selvitetään poikkeamien syy mittauksituloksia analysoimalla.

On huomattava, että laadunvarmistuksessa käytettävät laskenta- ja mittausmenetelmät eivät korvaa alkuperäisiä luminanssiperusteisia valaistusteknillisiä laskentoja.

5.3 Valaistussuunnitelmat osana laadunvarmistusta

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksen lähtöaineistona toimii valaistuksen rakennussuunnitelma. Hyväksytyistä valaistussuunnitelmista voi jälkikäteen löytyä virheitä, jotka johtavat valaistusasennuksen hylkäämiseen. Jos pelkkien valaistussuunnitelmien perusteella voidaan sanoa, etteivät valaistusvaatimukset täyty, ei erillisiä valaistusmittauksia tarvita. Suunnitteluvirhe voi olla alkuperäisissä hyväksytyissä suunnitelmissa tai urakoitsijan tekemissä muutossuunnitelmissa.

Suurin osa suunnittelun aikaisista virheistä löytyy valaistusteknisistä laskennoista. Siksi erityisesti valaistusteknisten laskentojen oikeellisuuteen tulisi kiinnittää huomiota. Yleisimmät virheet liittyvät alenemakertoimeen, valopisteen sijaintiin suhteessa ajorataan ja määrän päällesteen laskentatulosten puuttumiseen.

Oikean alenemakertoimen käytöllä varmistetaan se, että ajoradalle tulee riittävästi valoa valonlähteen uusimiseen asti. Alenemakertoimen arvo riippuu käytettävästä valonlähteestä sekä käyttöympäristön likaisuudesta. Ainoastaan estohäikäisyn (TI-arvo) tarkastelu tulee aina tehdä alenemakertoimella 1. Estohäikäisy on pahimmillaan silloin, kun valonlähde on uusi, eli kun alenemakerroin on 1. Alenemakertoimeen tulee erityisesti kiinnittää huomiota silloin, jos valonlähde on muuttunut alkuperäisestä suunnitelmasta.

Valopisteen sijainti riippuu valaisinpylvään etäisyydestä ajoradan reunaviivaan. Valopisteen sijaintiin vaikuttaa myös valaisinvarren pituus sekä valaisimen mitat. Valopisteen sijaintiin tulee kiinnittää huomiota erityisesti silloin, jos valaisin tai valaistuskalusteet ovat muuttuneet alkuperäisestä suunnitelmasta.

Valaistusteknisessä laskennassa tulee laskea myös märän päällysteen luminanssin yleistäisyys. Koska märkä päällyste on peilimäisempi kuin kuiva päällyste, tulee valaistusteknisillä laskennoilla osoittaa valaistusvaatimusten täyttyminen myös märällä päällysteellä.

Valaistuslaitteiden ominaisuudet ja tilausmääritteet ovat usein monimutkaisia, jolloin työmaalle voi saapua vääriä tuotteita. Hankinta-asiakirjojen avulla voidaan varmistua oikeiden tuotteiden käytöstä.

5.4 Mittauspisteverkot

Laadunvarmistusmittauksissa mittauspisteverkko tarkoittaa mittausalueen pisteitä, joissa valaistusvoimakkuus mitataan (ja laskennalliset arvot lasketaan). Nykyiset laadunvarmistusmenetelmät eroavat toisistaan lähinnä mittauspisteverkon osalta.

Mittauspisteverkon ominaisuudet (mittauspisteiden lukumäärä ja sijainti) vaikuttavat merkittävästi mittausmenetelmän tehokkuuteen. Nopea ja yksinkertainen mittausmenetelmä edellyttää siis mahdollisimman yksinkertaista mittauspisteverkkoa. Mittauspisteverkon tulee kuitenkin olla tarpeeksi kattava oikeiden johtopäätösten tekemiseksi. Tarkoitus on, että mittautuloksista voitaisiin valaistusasennuksen puutteellisuuden toteamisen lisäksi tunnistaa virhetekijät eli mistä valaistusteknillisten ominaisuuksien puutteet johtuvat.

Tässä työssä kehitetty optimaalinen mittauspisteverkko saatiin yhdistämällä kolmen yleisimmän mittauspisteverkon hyvät ominaisuudet. Tämän luvun tarkoitus on esitellä näiden kolmen mittauspisteverkkojen ominaisuuksia.

Myös tämän työn laadunvarmistusmittaukset suoritettiin näillä mittauspisteverkoilla. Mittauspisteverkkojen ominaisuuksia tarkasteltiin siis myös saatujen mittautulosten kautta. Mittautuloksia käsitellään luvussa 6.

5.4.1 Standardin SFS-EN 13201-4:n määrittelemä mittauspisteverkko

Standardin SFS-EN 13201-4 mukaisissa valaistusvoimakkuusmittauksissa tulee käyttää mittauspisteverkkoa, joka määritellään seuraavasti (kuva 6).

- Mittauspisteiden etäisyys toisistaan ajoradan pitkittäissuunnassa saadaan yhtälöstä (2)

$$D = \frac{S}{N} \quad (2)$$

missä

D = mittauspisteiden etäisyys toisistaan pitkittäissuunnassa metreinä

S = pylväsväli

N = mittauspisteiden lukumäärä pitkittäissuunnassa siten, että

- N = pienin kokonaisluku, joka antaa yhtälöstä (2) $D \leq 3$ m, mutta aina vähintään $N = 10$.
- Ajoradan pitkittäissuunnassa ensimmäinen mittauspoikkileikkaus sijoittuu etäisyydelle $\frac{D}{2}$ ensimmäisen valaisinpylvään jälkeen ja viimeinen mittauspoikkileikkaus vastaavasti etäisyydelle $\frac{D}{2}$ ennen toista valaisinpylvästä.
- Mittauspisteiden etäisyys toisistaan ajoradan poikittaissuunnassa saadaan yhtälöstä (3)

$$d = \frac{W_r}{n} \quad (3)$$

missä

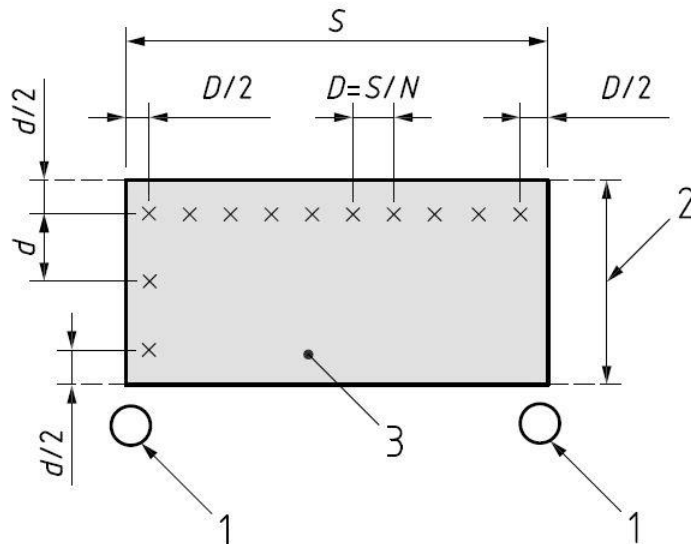
d = mittauspisteiden etäisyys toisistaan poikittaissuunnassa metreinä

W_r = ajoradan leveys

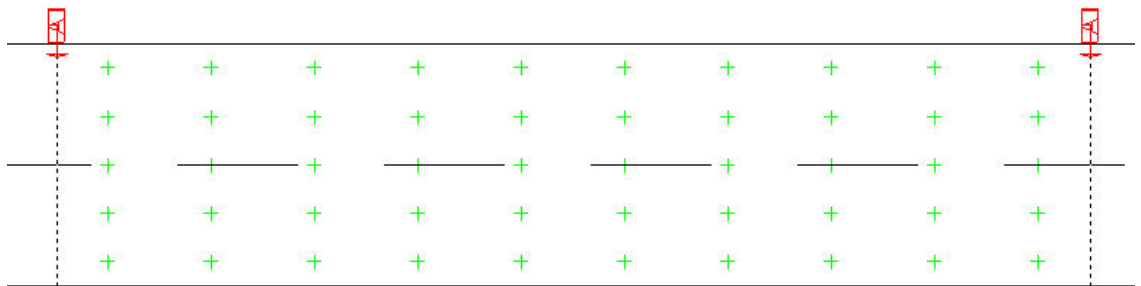
n = mittauspisteiden lukumäärä poikittaissuunnassa siten, että

- n = pienin kokonaisluku, joka antaa yhtälöstä (3) $d \leq 1,5$ m, mutta aina vähintään $n = 3$.
- ajoradan poikittaissuunnassa reunimmaisat mittauspistejonot sijoittuvat etäisyydelle $\frac{d}{2}$ ajoradan reunoista

Kuvassa 7 on havainnollistettu standardinmukainen mittauspisteverkko tapauksessa $S = 30$ m ja $W_r = 7$ m.



Kuva 6. Standardinmukaisen mittauspisteverkon määrittely. 1. Valaisinpylväät. 2. Ajoinleveys W_r . 3. Mittausalue. X = mittauspiste. S = pylväsväli. [16, s. 34]



Kuva 7. Esimerkki standardinmukaisesta mittauspisteverkosta, kun pylväsväli $S = 30$ m ja ajoinleveys $W_r = 7$ m. Mittauspisteet merkitty vihreällä.

Standardinmukaisen mittauspisteverkon etu on se, että sen voidaan olettaa sisältävän riittävästi mittauspisteitä luotettavien mittaustulosten saamiseksi. Standardinmukainen mittauspisteverkko valikoitui tässä työssä tarkastelun kohteeksi, koska se on virallisesti hyväksytty mittausten menetelmä. Sen vuoksi tässä työssä standardinmukaisella mittauspisteverkolla saadut mittaustulokset (luku 6) toimivat referenssituloksina.

Kuten yhtälöiden (2) ja (3) perusteella voidaan todeta, on standardinmukaisen mittauspisteverkon muodostaminen melko monimutkaista. Vaikka mittauspisteverkko on kattava eli mittauspisteitä on runsaasti, sisältää se käytännön kannalta monta huonoa puolta.

Standardinmukaisen mittauspisteverkon määritelmästä johtuen mittauspisteiden koordinaatit ovat riippuvaisia pylväsvälistä ja ajoinleveydestä. Mittauspisteiden koordinaattien määrittäminen manuaalisesti on vaivalloista ja aikaa vievää, mutta apuna voidaan käyttää valaistuslaskentaohjelmaa, joka laskee koordinaatit automaattisesti. Pylväiden koordinaatit saattavat todellisuudessa poiketa suunnitelmasta, joten myös pylväsvälit voivat poiketa suunnitelmasta. Lisäksi mitattavat pylväsvälit valitaan

yleensä vasta maastossa, jolloin pylväsvälikin selviää vasta maastossa. Tällöin mittauspisteiden koordinaatteja ei voida määrittää etukäteen tietokoneen avulla vaan määrittäminen joudutaan tekemään käsin.

Mittauspisteiden monimutkaisten koordinaattien takia myös mittauspisteiden määrittäminen tarkasti oikeille paikoille on hankalaa ja aikaa vievää. Määrittäminen voitaisiin tehdä satelliittipaikannusta hyödyntävien mittalaitteiden avulla, mutta tällaisia mittalaitteita ei yleensä ole käytössä. Olennaista on, että mittauspisteverkon määrittäminen maastossa riittävän tarkasti tulee olla mahdollista yksinkertaisin mittavälinein.

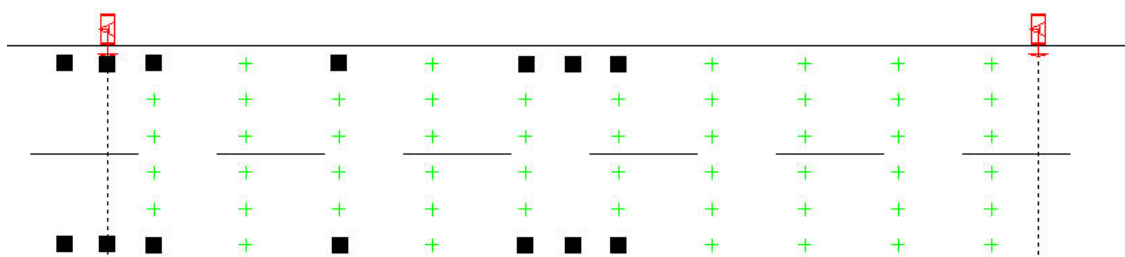
Koska mittauspisteitä on runsaasti, kertautuu menetelmän monimutkaisuus jokaisella mittauspisteellä.

Standardin mukainen mittauspisteverkko tarjoaa parhaimmat edellytykset luotettavien johtopäätösten tekemiseen, mutta on menetelmänä erittäin hankala ja aikaa vievä.

5.4.2 InfraRYL:n määrittelemä mittauspisteverkko

Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa (infraRYL), kohdassa ”33631.4 Valmis valaisinasennus”, määritellään laadunvarmistusmittauksissa käytettävä mittausmenetelmä ja mittauspisteverkko. Uusille teille mittauspisteverkko määritellään infraRYL:n mukaan seuraavasti (kuva 8) [1, s. 180]:

”Mittaukset tehdään tien pinnasta tien pinnan suuntaisesti poikkileikkauksissa, jotka sijaitsevat laskenta-alueen alussa, neljännespisteessä ja puolivälissä. Lisäksi mitataan pylväsvälin puolivälin molemmiin puolin lähimmät laskentapoikkileikkaukset sekä valaisimen viereiset poikkileikkaukset. Poikkileikkauksen jokaisen kaistan äärimmäisten pisteiden arvot merkitään ylös.”



Kuva 8. Esimerkki InfraRYL:n mukaisesta mittauspisteverkosta, kun pylväsväli $S = 30$ m ja ajoradan leveys $W_r = 7$ m. Mitattavat pisteet on merkitty mustilla neliöillä. Huom.

InfraRYL:n mittauspisteverkossa mittauspisteiden sijainti määräytyy luminanssilaskennassa käytettävän laskentaverkon mukaan (kuvassa vihreät pisteet), joka on määritelty standardissa SFS-EN 13201-3.

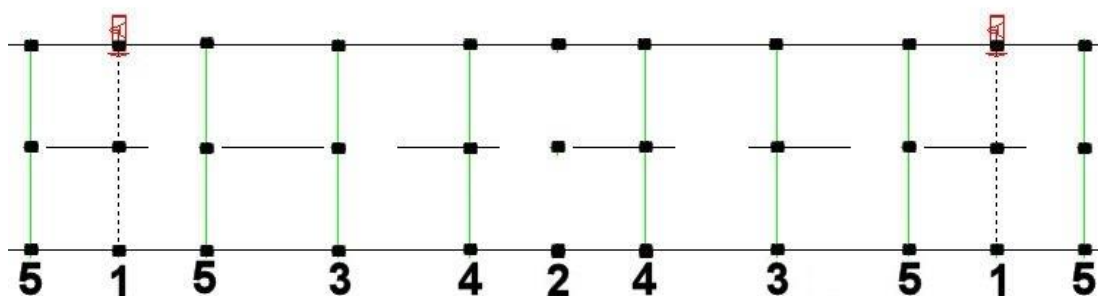
InfraRYL:ssa määriteltyä menetelmää ei valaistusalalla juurikaan ole käytetty [14].

InfraRYL:n mukainen mittauspisteverkko valikoitui tässä työssä tarkastelun kohteeksi siksi, että se edustaa standardin SFS-EN 13201-4 mukaisen mittauspisteverkon tavoin

virallisesti hyväksyttyä menetelmää. Merkittävä ero standardinmukaiseen mittauspisteverkkoon on mittauspisteiden määrä, joten olennaista on tietää saadaanko eri mittauspistemäärillä samansuuntaisia tuloksia. Tämän työn valaistusmittaukset tehtiin siten myös infraRYL:n mukaisella mittauspisteverkolla.

Tämän työn valaistusmittauksissa (luku 6) käytettiin infraRYL:n mukaisesta mittauspisteverkosta yksinkertaistettua versiota siten, että mittauspisteet sijoitettiin ajokaistojen reunaviivoille. Mittauspisteverkkoa laajennettiin siten, että se kattoi koko pylväsvälin. Mittauspisteverkko on seuraavanlainen (kuva 9):

1. Mittauspoikkileikkaus valaisimien kohdalla.
2. Mittauspoikkileikkaus pylväsvälin keskellä.
3. Mittauspoikkileikkaukset pylväsvälin neljänneksillä.
4. Pylväsvälin puolivälin molemmin puolin lähimmät mittauspoikkileikkaukset määriteltiin tapauskohtaisesti joko ± 3 metrin tai ± 5 metrin etäisyyksille.
5. Valaisimien molemmin puolin lähimmät mittauspoikkileikkaukset määriteltiin tapauskohtaisesti joko ± 3 metrin tai ± 5 metrin etäisyyksille.



Kuva 9. Esimerkki tässä työssä käytetystä yksinkertaistetusta infraRYL:n mukaisesta mittauspisteverkosta, kun pylväsväli $S = 30$ m ja ajoradan leveys $W_r = 7$ m. Mitattavat pisteet on merkitty mustilla neliöillä.

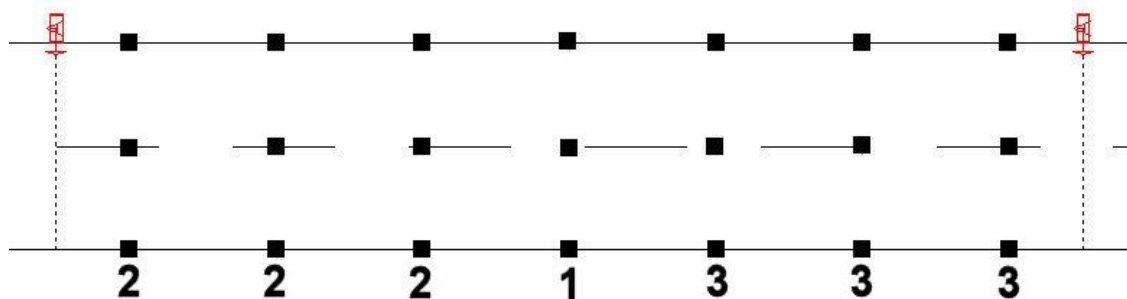
InfraRYL:n mukaisen mittausmenetelmän etu on, että sillä voidaan selvittää valaisimien ja valaisinvarsien suuntaukseen liittyvät virheet yksinkertaisesti. Jos valaisin on asennettu oikein, tulee valaisimen molemmin puolin samalta etäisyydeltä mitattujen valaistusvoimakkuuksien täsmätä (kuvassa 9 mittauspisteet 5). Tässä työssä käytetyn yksinkertaistetun menetelmän etuna on mittauspisteiden helppo määriteltävyys maastossa, sillä mittauspisteet sijaitsevat ajokaistojen reunoilla, jotka on valmiiksi merkitty ajoradalle. Koska mittauspisteitä ei ole paljon, ei itse mittauskana vie paljon aikaa. Toisaalta, kun mittauspisteitä on vähän, voivat yksittäiset mittausvirheet jäädä hallitseviksi.

5.4.3 Sovellettu mittauspisteverkko

Sovelletun mittauspisteverkon perusteet ovat peräisin LiCon-AT Oy:n käyttämästä mittausmenetelmästä [22]. Sovellettu mittauspisteverkko valikoitu mukaan tarkasteluun kolmantena mittauspisteverkkona, koska sen ominaisuudet vastaavat tämän työn tarkoitusta.

Sovellettu mittauspisteverkko määritellään seuraavasti (kuva 10):

1. Ensimmäinen mittauspoikkileikkaus sijaitsee pylväsvälin puolessa välissä.
2. Seuraavat mittauspoikkileikkaukset sijaitsevat pylväsvälin puolesta välistä lähtien 5 metrin välein, kunnes ollaan alle 5 metrin päässä pylväsvälin toisesta valaisinpylvästä
3. Sama toistetaan toiselle pylväsvälin puoliskolle.
4. Mittauspoikkileikkauksessa mittauspisteet sijaitsevat ajokaistojen reunaviivoilla.



Kuva 10. Esimerkki sovelletusta mittauspisteverkosta, kun $S = 35$ m ja ajoradan leveys $W_r = 7$ m. Mitattavat pisteet on merkitty mustilla neliöllä.

Sovelletun mittauspisteverkon tärkein etu on sen helppo määriteltävyys maastossa. Mittauspisteet sijaitsevat ajokaistojen reunaviivoilla, jotka on jo valmiiksi merkitty ajoradalle. Lisäksi mittauspisteet sijaitsevat pitkittäissuunnassa aina 5 metrin etäisyydellä toisistaan, joten monimutkaisia laskentayhtälöitä ei tarvita. Mittauspisteiden määrittely onnistuu helposti myös valaistuslaskentaohjelmassa.

Sovelletun mittauspisteverkon heikkous on se, että mittauspisteverkko ei ulotu valaisimien molemmille puolille, kuten infraRYL:n mukaisella mittauspisteverkolla (kuvassa 9 mittauspisteet 5). Lisäksi lyhyillä pylväsväleillä mittauspisteiden määrä voi jädä pieneksi, jolloin mahdolliset yksittäiset mittausvirheet vaikuttavat enemmän mittaustuloksiin.

5.5 Laadunvarmistusmittausten virhelähteet ja mittausepävarmuus

Valaistusmittauksiin yleisesti liittyviä virhelähteitä pohdittiin luvussa 3.1.5. Tässä luvussa ne on eritelty laadunvarmistusmittauksiin liittyvien virhelähteiden ja -tekijöiden osalta. Eri virhelähteiden suuruusluokat ovat lähes poikkeuksetta tapauskohtaisia, joten niiden vaikutusta mittaustuloksiin tulee myös arvioida tapauskohtaisesti. Koska yleispäteviä suuruusluokkia virhelähteille on hankala määritellä, esitetään tässä luvussa keinoja pienentää niiden vaikutusta. Tulokset on esitetty luvussa 5.5.1. Tulokset perustuvat osaksi tämän työn valaistusmittauksissa (luku 6) tehtyihin havaintoihin. Valaistusvoimakkuusmittarin valoanturin asennosta aiheutuvaa mittausvirhettä on käsitelty erikseen luvussa 5.5.2.

5.5.1 Eri virhelähteitä ja niiden huomioiminen mittaustuloksissa

Virhelähteet ja havainnot on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Laadunvarmistuksen virhelähteitä, vaikutukset mittaustuloksiin ja keinoja niiden pienentämiseen.

Virhelähde	Virhelähteen eliminointi / vaikutuksen pienentäminen
Valaistusvoimakkuusmittarin mittaustarkkuus = kalibrointitarkkuus	Mittaustarkkuuteen liittyvä epävarmuus esiintyy aina ja vaikutus mittaustuloksiin on merkittävä. Tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä kalibroitua, tarkoitukseen sopivaa valaistusvoimakkuusmittaria. Mittaustulosten luotettavuus paranee, kun valaistusvoimakkuusmittarissa on huomioitu kosinikorjaus ja silmän spektriherkkyyskäyrä.
Valaistusvoimakkuusmittarin lukemataarkkuus	Lukemataarkkuuteen liittyvä epävarmuus esiintyy aina. Vaikutus mittaustuloksiin on tapauskohtainen. Tarkkuus paranee käyttämällä asianmukaista valaistusvoimakkuusmittaria.
Valoanturin asento	Valoanturin asentoon liittyvä epävarmuus esiintyy aina ja vaikutus mittaustuloksiin on merkittävä. Virheen suuruuteen voidaan vaikuttaa. Oikean asennon (=ajoradan pinnan suunta) varmistamiseksi voidaan käyttää erillistä aluslevyä, joka asettaa valo-anturin aina oikeaan asentoon (ajoradan pinnan suuntaisesti). Valoanturin virheasennon vaikutusta voidaan pienentää toistomittauksella. Ks. lisäksi luku 5.5.2.
Mittauspisteiden koordinaatit	Mittauspisteiden koordinaatteihin liittyvä epävarmuus esiintyy aina ja vaikutus mittaustuloksiin on merkittävä. Virheen suuruuteen voidaan vaikuttaa. Mittauspisteiden sijainti pitkittäissuunnassa voidaan määrittää riittävän tarkasti yksinkertaisin apuvälinein (esim. mittapyörä, ks. luku 6.1.1). Lisäksi ajokaistojen reunaviivat on yleensä merkitty ajoradalle, jolloin mittauspisteiden sijainti voidaan määrittää tarkasti myös poikittaissuunnassa. Mittauspisteiden sijainnin epävarmuutta voi pienentää toistomittauksella, jossa mittauspisteiden koordinaatit määritetään uudestaan.

Häiriövalonlähteet eli mitattavaan kohteeseen kuulumattomat valonlähteet (esim. muut tie- ja katuvalaisimet, rakennusten seinä- ja pihavalot, mainoskyltit, ikkunamainokset, ajoneuvojen ajovalot, pientareelle kerääntynyt lumi, heijastavat asustemateriaalit yms.)	<p>Vaikutus mittaustuloksiin on yleensä vähäinen.</p> <p>Häiriövalonlähteiden vaikutus voidaan eliminoida sammuttamalla häiriövalonlähteet, mutta se ei yleensä ole mahdollista. Merkittävimpien häiriövalonlähteiden vaikutus voidaan eliminoida varjostamalla niistä tulevat valonsäteet. Häiriövalonlähteen vaikutusta voi myös arvioida sen luoman varjon suuruudella. Mitä suuremman varjon häiriövalonlähde luo mittausalueelle, sitä merkittävämpi on sen vaikutus.</p>
Varjot ja esteet (esim. mittaajan varjo, puiden oksat, liikennemerkkit, ajoneuvot yms.)	<p>Vaikutus mittaustuloksiin on yleensä vähäinen.</p> <p>Mittaajan tulee asettua siten, että valo pääsee esteettä valoanturille. Jos mittauspiste sijaitsee varjoalueella, tulee se mainita ja huomioida mittaustuloksissa.</p>
Sääolosuhteet	<p>Vaikutus mittaustuloksiin on tapauskohtainen.</p> <p>Valaistusmittauksia ei tule tehdä voimakkaan lumi- tai vesisateen tai sumun aikana, koska niillä saattaa olla valonsäteiden kulkua estävä vaikutus. Lämpötila vaikuttaa eri tavalla eri valaistusvoimakkuusmittareiden toimintaan. Lämpötilan vaikutus tulee huomioida valmistajan ohjeiden mukaan.</p>
Ajoradan geometria (esim. ajoradan leveys ja suoruus mittausalueella)	<p>Ks. mittauspisteiden koordinaatit</p> <p>Ajoradan ja -kaistojen todellinen leveys tulee aina varmistaa mittaamalla (reunaviivan keskeltä reunaviivan keskelle). Mitattava pylväsväli tulisi sijaita mahdollisimman suoralla ajoradan osuudella.</p>
Jännitteen ja virran vaihtelu (= valovirran vaihtelu)	<p>Vaikutus mittaustuloksiin on merkittävä. Virheen suuruuteen voidaan vaikuttaa.</p> <p>Jännitteen ja virran suuruus saattaa vaihdella mittauksen aikana, jolloin myös valovirta saattaa vaihdella mittauksen aikana. Myös valaistuksen ohjaus saattaa kytkeytyä päälle kesken mittauksen. Valovirran vaihtelun vaikutusta voidaan pienentää tekemällä valaistusvoimakkuuden tarkistusmittaus tietyn väliajoin tietystä pisteestä mittauksen aikana, esim. aluksi ja lopuksi.</p>
Mittaustulosten jatkokäsittely (pyöristäminen ja huolimattomuusvirheet)	<p>Vaikutus mittaustuloksiin on tapauskohtainen.</p> <p>Tulosten kirjaaminen tulee tehdä huolella. Jotkin valaistuslaskentaohjelmat saattavat pyöristää laskennallisia arvoja, jolloin vaikutus voi varsinkin pienillä arvoilla olla suhteellisesti</p>

	merkittävä.
Muuta	Valaistusvoimakkuusarvot ovat yleensä suurimmillaan mittausalueen alku- ja loppuosassa ja pienenevät keskiosalle mentäessä. Tällöin mittaustulosten luotettavuutta voidaan mittauksen aikana parantaa seuraamalla mittaustulosten järkevyyttä eli käyttäytyvätkö mitatut valaistusvoimakkuusarvot oletetusti. Lisäksi, koska mittauspisteverkko on symmetrinen, voidaan mittausalueen eri puoliskoilla saatuja tuloksia verrata alustavasti keskenään jo mittausten aikana. Mikäli merkittäviä poikkeamia löytyy, voidaan tehdä tarkistusmittaus.

5.5.2 Valoanturin asennon vaikutus mittaustuloksiin

Valaistusvoimakkuusmittarin valoanturi tulee asettaa ajoradan pinnan suuntaisesti. Jos valoanturi on asetettu väärään asentoon, on siitä aiheutuva virhe merkittävä. Tämän luvun tarkoitus on tutkia, voidaanko valoanturi luotettavasti saada oikeaan asentoon sopivia apuvälineitä käyttämällä, esimerkiksi mittausvarsi ja valoanturin alle asettava aluslevy (ks.luku 6.1.1). Tällöin voitaisiin laadunvarmistusmittausten kannalta yksi hankalimmista epävarmuustekijöistä eliminoida tai siitä aiheutuvaa virhettä pienentää merkittävästi.

Alla olevat vertailut (taulukot 3–5) koostuvat kukin kahdesta mittaustuloksesta samassa kohteessa, jotka on tehty samalla valaistusvoimakkuusmittarilla. Eri kohteissa on käytetty eri valaistusvoimakkuusmittareita. Koska vertailun tarkoitus ei ole analysoida absoluuttisia valaistusvoimakkuusarvoja vaan tarkastella, onko samalla valaistusvoimakkuusmittarilla mahdollista mitata kaksi kertaa samansuuruiset arvot samoissa mittauspisteissä, voidaan valaistusvoimakkuusmittareiden ominaisuuksien tarkastelu tässä sivuuttaa.

Kuten taulukoiden 3–5 mittaustulokset osoittavat, sopivilla apuvälineillä valaistusvoimakkuusmittarin valoanturi voidaan luotettavasti saada oikeaan asentoon. Joitain satunnaisia eroja mittauskertojen välillä esiintyy, mutta erot eivät ole merkittäviä. Taulukon 4 tapauksessa esimerkiksi lamppujen valovirta on voinut muuttua mittauskertojen välissä, sillä suhteellinen muutos mittaustuloksissa on lähes systemaattinen.

Esitettyjen mittaustulosten perusteella valoanturin asennosta aiheutuva mittausepävarmuus voidaan lähes kokonaan eliminoida sopivia apuvälineitä käyttämällä. Tuloksista voidaan kuitenkin huomata, että valoanturin asennolla voi todellakin olla merkittävä vaikutus mittaustuloksiin varsinkin pienillä valaistusvoimakkuusarvoilla. Apuvälineiden käytöstä huolimatta mittaus tulee aina tehdä huolellisesti ja valoanturin oikeaan asentoon pitää kiinnittää huomiota.

Taulukko 3. Vertailu kahden mittauksen välillä samoissa mittauspisteissä. Kohde 1, mittari 1.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit	mit	suht.	mit	mit	suht.	mit	mit	suht.	
	1 (lx)	2 (lx)	ero (%)	1 (lx)	2 (lx)	ero (%)	1 (lx)	2 (lx)	ero (%)	
2	8,1	8,3	-2	8,5	8,7	-2	5,5	5,6	-2	val 1
7	5,7	6,1	-7	5,6	5,8	-3	5	4,9	2	
12	4,6	4,8	-4	3,5	3,5	0	2,4	2,5	-4	
17	3,5	3,5	0	2,3	2,2	5	1	0,9	11	
22	4,6	4,8	-4	3,5	3,4	3	2,1	2	5	
27	6,5	6,7	-3	6,2	6,3	-2	4,3	4,3	0	val 2
32	7,7	8	-4	9,3	9,4	-1	4,5	4,5	0	

Taulukko 4. Vertailu kahden mittauksen välillä samoissa mittauspisteissä. Kohde 2, mittari 2.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit 1 (lx)	mit 2 (lx)	suht. ero (%)	mit 1 (lx)	mit 2 (lx)	suht. ero (%)	mit 1 (lx)	mit 2 (lx)	suht. ero (%)	
4,5	val 1	40	40,7	-2	36,1	36,5	-1	25	25,7	-3
11,5		24,4	24,9	-2	21,8	22,2	-2	17,8	18,3	-3
18,5		14,4	14,7	-2	13,5	13,9	-3	12,8	12,9	-1
25,5		12,3	12,6	-2	12,1	12,3	-2	10,3	10,8	-5
32,5		10	10,5	-5	10	10,7	-7	8,7	9	-3
39,5		9,4	9,7	-3	9,1	9,4	-3	7,8	8	-3
46,5		9,5	9,9	-4	9,5	9,6	-1	8,4	8,7	-3
53,5		11,6	11,8	-2	11,5	11,8	-3	10,4	10	4
60,5		14,1	14,5	-3	15	16	-6	14,1	14,5	-3
67,5		24	25	-4	23	23,5	-2	18	19	-5
74,5	val 2	41,2	43	-4	36	36,5	-1	24,6	25,5	-4

Taulukko 5. Vertailu kahden mittauksen välillä samoissa mittauspisteissä. Kohde 3, mittari 2.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa.						
	Reunaviiva			Reunaviiva			
	mit 1 (lx)	mit 2 (lx)	suht. ero (%)	mit 1 (lx)	mit 2 (lx)	suht. ero (%)	
0	val 1	34	33,9	0	32,3	33	-2
5		39	39,1	0	38,5	38,4	0
10		21,5	21,4	0	17,3	17,3	0
15		15,3	15,5	-1	10	10	0
20		8,3	8,5	-2	4,7	4,6	2
25		7,5	7,5	0	3,6	3,7	-3
30		9,3	9	3	5,5	5,5	0
35		15,9	15,5	3	10,5	10,9	-4
40		19	19	0	18,9	19,6	-4
45		36,1	36,5	-1	33,3	33,3	0
50	val 2	34,4	35	-2	31,5	33,8	-7

5.6 Mittaustulosten käsittely

Mittaustulosten tulkintaa ja analysointia helpottaa mittaustuloksien järjestäminen havainnolliseen muotoon. Mittaustulosten tarkasteltu kokonaisuutena on tärkeää, mutta olennaisimpien tunnuslukujen tarkastelu helpottaa johtopäätösten tekoa. Tässä luvussa esitetään eräitä tunnuslukuja, jotka mittaustuloksista kannattaa selvittää, ja pohditaan mittaustuloksille sallittavia poikkeamia. Lisäksi annetaan esimerkki mittaustulosten järjestämisestä havainnolliseen muotoon.

5.6.1 Mittaustulosten esitystapa

Mittaustulosten analysoimiseksi ja havainnollistamiseksi mittaustulokset kannattaa järjestää taulukkomuotoon. Tämän työn laadunvarmistusmittauksissa mittaustulokset järjestetään taulukossa 6 esitetyn esimerkin mukaiseen muotoon. Taulukon rakenne on seuraava:

- Värityn sarake: mitatut arvot.
- Sininen sarake: laskennalliset arvot.
- Vihreä sarake: mitatun ja laskennallisen arvon suhteellinen ero. Suhteellinen ero on negatiivinen, jos mitattu arvo on pienempi kuin laskennallinen arvo. Suhteellinen ero on positiivinen, jos mitattu arvo on suurempi kuin laskennallinen arvo.
- Taulukon rivi kertoo mittauspisteen sijainnin ajoradan pitkittäissuunnassa.
- Taulukon sarake kertoo mittauspisteen sijainnin ajoradan poikittaissuunnassa.
- Pylväsnumeroiden sijainti kertoo kummalla puolella ajorataa valaisimet ja valaisinpylväät sijaitsevat.

Taulukko 6. Esimerkki mittaustulosten esitystavasta.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)		Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
	101									
	102									
Em,pit										
E3min,pit/Em,pit										
Em,kok										
E3min,kok/Em,kok										

5.6.2 Mittaustuloksista tarkasteltavat tunnusluvut

Taulukon 6 esimerkkiin perustuen mitatuista ja laskennallisista arvoista on hyvä laskea seuraavat tunnusluvut ja niiden suhteelliset erot:

- kokonaiskeskiarvo $E_{m, kok}$,
- yleistasaisuus seuraavasti: mittausalueen kolmen pienimmän luvun keskiarvon suhde kokonaiskeskiarvoon $E_{3min, m} / E_{m, kok}$,
- sarakkekohtaiset pitkittäissuuntaiset keskiarvot $E_{m, pit}$,
- sarakkekohtaiset pitkittäissuuntaiset tasaisuudet seuraavasti: kolmen pienimmän sarakkekohtaisen luvun keskiarvon suhde sarakkekohtaiseen pitkittäissuuntaiseen keskiarvoon $E_{3min, pit} / E_{m, pit}$.

Tärkein mittaustuloksista laskettava tunnusluku on mittausalueen kaikkien valaistusvoimakkuusarvojen kokonaiskeskiarvo $E_{m, kok}$. Kokonaiskeskiarvo kertoo, tuleeko mittausalueelle kokonaisuudessaan riittävästi valoa. Suunnitelman mukaisen valaistustason varmistamiseksi mitattujen arvojen kokonaiskeskiarvo ei saa poiketa laskennallisesta liikaa.

Mittaustuloksia ei kuitenkaan tule analysoida pelkästään kokonaiskeskiarvojen perusteella vaan mittaustuloksia tulee aina tarkastella kokonaisvaltaisesti. Esimerkiksi vaikka mitattu kokonaiskeskiarvo vastaisikin laskennallista, voi valo edelleen jakautua väärin ajoradan pinnalle.

Valon suunnitelman mukainen jakautuminen ajoradan pinnalle voidaan varmistaa tasaisuuksia tarkastelemalla. Koska tasaisuuksien laskentaan käytetään mittausalueen pienintä lukuarvoa, voi yksittäinen mittausvirhe vaikuttaa merkittävästi tasaisuusarvoon. Luotettavuuden parantamiseksi tasaisuuksiakin tulee keskiarvoistaa.

Valon suunnitelman mukainen jakautuminen voidaan varmistaa tarkastelemalla mittausalueen kolmen pienimmän valaistusvoimakkuusarvon keskiarvon suhdetta kokonaiskeskiarvoon $E_{3min} / E_{m, kok}$. Riittävän tasaisuuden varmistamiseksi mitattujen arvojen suhdeluku ei saa poiketa laskennallisesta liikaa.

Valon suunnitelman mukainen jakautuminen voidaan varmistaa tarkastelemalla myös pitkittäissuuntaisia mittauspistejonoja (sarakkeita). Riittävän tasaisuuden varmistamiseksi ajoradan poikittaissuunnassa vaaditaan, ettei valoa saa tulla liikaa yksistään toiselle puolelle ajorataa. Tämä tarkoittaa käytännössä mitattujen ja laskennallisten pitkittäissuuntaisten keskiarvojen suhteellisten erojen vertailua. Erot eivät saa olla keskenään liian suuria.

On huomioitava, että tässä esitetyt tunnusluvut eivät ole vertailukelpoisia valaistusvaatimuksissa esiintyvien tunnuslukujen kanssa (luku 2.3).

5.6.3 Mittaustuloksille sallittavat poikkeamat

Jos mittausvirhettä ei olisi, voitaisiin virheettömän valaistusasennuksen vaatia tuottavan täysin laskennallista vastaavan mittaustuloksen. Todellisuudessa mittaustuloksiin vaikuttaa aina jonkinlainen mittausvirhe, jolloin mittaustuloksille on sallittava jonkinasteinen poikkeama laskennallisista tuloksista.

Luvun 5.5 perusteella mittausvirheet, niiden suuruus ja vaikutus mittaustuloksiin ovat lähes poikkeuksetta tapauskohtaisia. Tämän perusteella mitattujen ja laskennallisten arvojen välisille poikkeamille on hankalaa asettaa yleispäteviä rajoja.

Tässä työssä tehtyjen laadunvarmistusmittausten perusteella on kuitenkin mahdollista saada käsitys siitä, minkälaisella tarkkuudella laadunvarmistusmittaukset on keskimäärin mahdollista suorittaa. Tulokset on esitetty luvussa 6.3.3.

5.7 Virheellisten valaisinasennuksien valaistusteknilliset tarkastelut

Erilaisten asennusvirheiden vaikutusta mittaustuloksiin voidaan tarkastella teoreettisesti valaistusteknillisten laskentojen avulla. Tässä luvussa tutkitaan sitä, miten eri asennusvirheet vaikuttavat valaistusvoimakkuusarvoihin ajoradan pinnalla ja miten eri asennusvirheet ovat havaittavissa mittaustuloksista.

5.7.1 Erilaisia asennusvirheitä ja valaistusasennuksien toleranssit

Ennen asennusvirheiden valaistusteknillisiä tarkasteluja, on syytä koota yhteen yleisimmät asennusvirheet. Lisäksi, koska jotkin asennusvirheet voidaan selvittää ainoastaan valaistusteknillisten mittausten avulla, tulee olla jonkinlainen käsitys siitä, minkä suuruisia sellaiset asennusvirheet voivat olla. Tieto asennusvirheiden suuruusluokasta auttaa teoreettisen tarkastelun myötä arvioimaan, ovatko kaikki asennusvirheet edes havaittavissa mittaustuloksista.

Asennusvirheiden suuruusluokkia voidaan arvioida valaisinasennuksille määriteltävien toleranssien avulla. Toleranssi määrittelee, minkä suuruinen asennuspoikkeama tarkoittaa virheellistä valaistusasennusta.

Taulukkoon 2 on kerätty yleisimmät asennusvirheet ja niille toleranssit (jos sellainen on asennusvirheelle määritelty). Toleranssit perustuvat CEN:n teknisen komitean TC 169 (*Technical Committee*) alustaviin tuloksiin [14, 15]. On huomioitava, että taulukkoon 7 kirjatut toleranssit ovat alustavia arvioita ja niitä käytetään ainostaan tämän työn laskentaesimerkeissä. Tässä mainitut toleranssit eivät ole virallisia, joten niitä ei saa käyttää rakentamisen tai suunnittelun ohjeena.

Taulukko 7. Yleisimmät asennusvirheet ja niiden toleranssit. [14, 15]

Asennusvirhe	Toleranssi
Valaisimen sijainti ajoradan pitkittäissuunnassa = pylväsväli	Ei määritellä, sillä mitataan tarkasti valaistusmittausten yhteydessä. Vaikutus voidaan eliminoida kokonaan, sillä huomioidaan valaistusteknisessä laskennassa. (ks. luku 3.1.4 ja 5.2)
Valaisimen sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (valaisinvarren pituus, valaisinpylvään etäisyys ajoradan reunaviivaan)	Ei määritellä, sillä mitataan tarkasti valaistusmittausten yhteydessä. Vaikutus voidaan eliminoida kokonaan, sillä huomioidaan valaistusteknisessä laskennassa. (ks. luku 3.1.4 ja 5.2)
Valaisimen asennuskorkeus	$\pm 2,5$ % asennuskorkeudesta
Valaisimen valonjako	Valmistajan mukaan.
Lampun/LED-valaisimen valovirta	Valmistajan mukaan.
Valaisimen kallistuskulma δ (määritelty kuvassa 11)	$\pm 1^\circ$
Valaisimen kääntökulma ν (määritelty kuvassa 11)	$\pm 2^\circ$
Valaisimen kiertokulma ψ (määritelty kuvassa 11)	$\pm 1^\circ$
Valaisinpylvään kallistuma (ajoradan pitkittäis- ja poikittaissuunnassa)	Valaisinpylvään kallistuma vaikuttaa valaisimen kallistus-, kääntö- ja kiertokulmaan, joten erillistä toleranssia ei kallistumalle ole määritelty.
Jännite (vaikuttaa lampun/LED-valaisimen tuottamaan valovirtaan)	Ei määritellä, sillä voidaan mitata valaistusmittausten yhteydessä. Vaikutus voidaan huomioida mittaustuloksissa.
Virta (vaikuttaa lampun/LED-valaisimen tuottamaan valovirtaan)	Ei määritellä, sillä voidaan mitata valaistusmittausten yhteydessä. Vaikutus voidaan huomioida mittaustuloksissa.

Taulukoissa esitetyt keskiarvot ja tasaisuudet on esitysteknisistä syistä pyöristetty. Niiden suhteelliset erot on kuitenkin laskettu tarkoilla arvoilla. Valaistuslaskentaohjelman ominaisuudet vaikuttavat laskennallisten arvojen esitystarkkuuteen.

Valaistusteknillinen tarkastelu on tehty CalcuLuX Road 7.7.0.1 -ohjelmalla.

Alkutilanne

- Valaisin: Siteco SQ200 LP2 RP6, ST-150 (17500 lm)
- Asennuskorkeus: 10 m
- Pylväsväli: 50 m
- Alenemakerroin: 1 (koska uusi valaistusasennus)
- Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta: -0,5m (valaisinpylvään etäisyys ajoradan reunaviivaan 2,1 m, varren pituus 1 m, etäisyys valaisinistukasta lampun polttopisteeseen 0,6 m)
- Kallistuskulma: 5 °
- Ajoradan leveys: 7 m

Asennuskorkeuden muutos (taulukot 8 ja 9)

Koska pinnan valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen pinnan ja valonlähteen välisen etäisyyden neliöön, pienenee valaistusvoimakkuus ajoradan pinnalla, kun asennuskorkeus kasvaa. Se on nähtävissä taulukossa 8, joskaan erot virhetilanteen ja normaalin tilanteen välillä eivät ole merkittäviä. Valaisimen 1 läheisyydessä ero on selkeämpi. Pitkittäissuuntaisissa keskiarvoissa ja kokonaiskeskiarvossa erot tasaantuvat.

Taulukossa 9 tilanne on päinvastainen.

Taulukko 8. Asennuskorkeuden muutos +3 % ($h = 10,3$ m).

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	24	25	-4	28	29	-3	18	19	-5	val 1
0	24	25	-4	31	33	-6	25	27	-7	
5	24	25	-4	28	29	-3	18	19	-5	
10	16	17	-6	14	14	0	8	8	0	
15	12	12	0	10	11	-9	5	5	0	
20	10	10	0	9	9	0	4	4	0	val 2
25	8	8	0	8	8	0	4	4	0	
30	10	10	0	9	9	0	4	4	0	
35	12	12	0	11	11	0	5	5	0	
40	17	17	0	15	14	7	8	8	0	
45	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0	
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
Em,pit	17,8	18,2	-2	19,5	19,8	-2	12,6	12,9	-2	
E3min,pit/Em,pit	0,52	0,51	2	0,44	0,44	2	0,32	0,31	2	
Em,kok	16,7	17,0	-2							
E3min.kok/Em.kok	0.24	0.24	2							

Taulukko 9. Asennuskorkeuden muutos -3 % ($h = 9,7$ m).

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	26	25	4	31	29	7	19	19	0	val 1
0	26	25	4	35	33	6	28	27	4	
5	26	25	4	31	29	7	19	19	0	
10	18	17	6	15	14	7	8	8	0	
15	13	12	8	11	11	0	5	5	0	
20	10	10	0	9	9	0	4	4	0	val 2
25	8	8	0	8	8	0	4	4	0	
30	10	10	0	9	9	0	4	4	0	
35	12	12	0	11	11	0	5	5	0	
40	17	17	0	14	14	0	8	8	0	
45	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0	
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
Em,pit	18,5	18,2	2	20,4	19,8	3	13,0	12,9	1	
E3min,pit/Em,pit	0,50	0,51	-2	0,43	0,44	-3	0,31	0,31	-1	
Em,kok	17,3	17,0	2							
E3min,kok/Em,kok	0,23	0,24	-2							

Valonjaon muutos (taulukko 10)

Kun yhdessä valaisimessa on väärä valonjako, on todennäköistä, että muissakin valaisimissa on väärä valonjako. Sen vuoksi taulukon 5 esimerkissä molemmilla valaisimilla on väärä valonjako.

Taulukosta 10 nähdään, että valonjako LP2 RP4 suuntaa valoa enemmän ajoradan valaisinpylväiden puolelle ajorataa. Tämä on nähtävissä yksittäisistä arvoista sekä pitkittäissuuntaisista keskiarvoista. Valaisinpylväiden puolella pitkittäissuuntainen keskiarvo on reilusti normaalia tilannetta suurempi, kun taas vastakkaisella reunalla pitkittäissuuntainen keskiarvo on normaalia tilannetta pienempi. Yleistasaisuus on myös huonompi kuin normaalissa tilanteessa.

Joissain tapauksissa väärä valonjako voi suunnata valon esimerkiksi valaisimen alle ja ajoradan poikittaissuuntaan, jolloin pylväsvälin keskellä valaistusvoimakkuusarvot jäävät normaalitilannetta pienemmiksi.

Taulukko 10. Väärä valonjako (LP2 RP4, molemmilla valaisimilla)

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	24	25	-4	32	29	10	21	19	11	val 1
0	24	25	-4	36	33	9	29	27	7	
5	24	25	-4	32	29	10	21	19	11	
10	16	17	-6	17	14	21	10	8	25	
15	12	12	0	13	11	18	7	5	40	
20	9	10	-10	11	9	22	7	4	75	val 2
25	8	8	0	9	8	13	7	4	75	
30	9	10	-10	11	9	22	7	4	75	
35	12	12	0	13	11	18	7	5	40	
40	16	17	-6	17	14	21	10	8	25	
45	24	25	-4	32	29	10	21	19	11	
50	24	25	-4	36	33	9	29	27	7	
55	24	25	-4	32	29	10	21	19	11	
Em,pit	17,4	18,2	-4	22,4	19,8	13	15,2	12,9	17	
E3min,pit/Em,pit	0,50	0,51	-3	0,46	0,44	6	0,46	0,31	49	
Em,kok	18,3	17,0	8							
E3min,kok/Em,kok	0,38	0,24	62							

Valovirran muutos (taulukko 11)

Kuten väärän valonjaon tapauksessa, myös lamppujen tai LED-valaisinten valovirran muutos koskee yleensä usempia valaisimia, mutta poikkeuksia voi olla. Esimerkiksi pylväsvälin valaisimet on yleensä kytketty eri vaiheille, jolloin vaihekohtainen vika laskee vaikuttaa vain toiseen valaisimeen. Tässä esimerkissä molempien valaisimien valovirtaa on muutettu.

Taulukosta 11 nähdään, että valovirran muutos näkyy systemaattisesti kaikissa laskentapisteissä, joskin yksittäisten laskentapisteiden välillä esiintyy pientä vaihtelua. Erot johtuvat valaistuslaskentaohjelman tekemästä lukuarvojen pyöristyksestä. Olennaista on huomata, että yksittäisten pisteiden vaihteluista huolimatta virhetilanteen kokonaiskeskiarvo ja pitkittäissuuntaiset keskiarvot ovat noin 10 % normaalin tilanteen vastaavia arvoja alempia. Valovirran muutos on siis suoraan nähtävissä kokonaiskeskiarvosta.

Taulukko 11. Valovirran muutos -10 % (15750 lm, molemmilla valaisimilla).

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	22	25	-12	26	29	-10	17	19	-11	val 1
0	22	25	-12	30	33	-9	24	27	-11	
5	22	25	-12	26	29	-10	17	19	-11	
10	15	17	-12	13	14	-7	7	8	-13	
15	11	12	-8	10	11	-9	4	5	-20	
20	9	10	-10	8	9	-11	4	4	0	val 2
25	7	8	-13	7	8	-13	4	4	0	
30	9	10	-10	8	9	-11	4	4	0	
35	11	12	-8	10	11	-9	4	5	-20	
40	15	17	-12	13	14	-7	7	8	-13	
45	22	25	-12	26	29	-10	17	19	-11	
50	22	25	-12	30	33	-9	24	27	-11	
55	22	25	-12	26	29	-10	17	19	-11	
Em,pit	16,1	18,2	-11	17,9	19,8	-10	11,5	12,9	-11	
E3min,pit/Em,pit	0,52	0,51	1	0,43	0,44	-2	0,35	0,31	12	
Em,kok	15,2	17,0	-11							
E3min,kok/Em,kok	0,26	0,24	12							

Kallistuskulman muutos (taulukot 12 ja 13)

Kallistuskulman kasvattaminen aiheuttaa valon karkaamisen ajoradalta valaisinpylväiden vastakkaiselta puolelta (taulukko 12). Valon karkaaminen ajoradalta voidaan nähdä kokonaiskeskiarvon pienentymisestä. Valonjaosta riippuen kallistuskulman kasvattaminen voi myös nostaa valaistusvoimakkuusarvoja valaisinpylväiden vastakkaisella puolella ajorataa ja vastaavasti pienentää niitä valaisinpylväiden puolella ajorataa. Ilmiö on tällöin nähtävissä erityisesti pitkittäissuunnasta keskiarvoista.

Kallistuskulman pieneneminen aiheuttaa taas päinvastaisen ilmiön (taulukko 13). Valaistusvoimakkuudet kasvavat valaisinpylväiden puolella ajorataa ja vastaavasti pienenevät valaisinpylväiden vastakkaisella puolella ajorataa (valonjaosta riippuen).

Taulukko 12. Kallistuskulman muutos $+5^\circ$ ($\delta = 10^\circ$).

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	23	25	-8	25	29	-14	17	19	-11	val 1
0	25	25	0	29	33	-12	25	27	-7	
5	24	25	-4	25	29	-14	17	19	-11	
10	15	17	-12	12	14	-14	8	8	0	
15	11	12	-8	9	11	-18	5	5	0	
20	9	10	-10	8	9	-11	4	4	0	
25	8	8	0	7	8	-13	4	4	0	
30	10	10	0	9	9	0	4	4	0	val 2
35	12	12	0	11	11	0	5	5	0	
40	17	17	0	14	14	0	8	8	0	
45	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0	
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
Em,pit	17,6	18,2	-3	18,5	19,8	-7	12,5	12,9	-4	
E3min,pit/Em,pit	0,51	0,51	-1	0,43	0,44	-1	0,32	0,31	4	
Em,kok	16,2	17,0	-5							
E3min,kok/Em,kok	0,25	0,24	5							

Taulukko 13. Kallistuskulman muutos -5 ° ($\delta = 0^\circ$).

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
-5	25	25	0	31	29	7	21	19	11
0	25	25	0	36	33	9	29	27	7
5	25	25	0	32	29	10	21	19	11
10	18	17	6	18	14	29	9	8	13
15	13	12	8	13	11	18	6	5	20
20	10	10	0	10	9	11	5	4	25
25	7	8	-13	8	8	0	5	4	25
30	9	10	-10	9	9	0	4	4	0
35	12	12	0	11	11	0	5	5	0
40	17	17	0	14	14	0	8	8	0
45	25	25	0	29	29	0	19	19	0
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0
Em,pit	18,2	18,2	0	21,0	19,8	6	13,7	12,9	6
E3min,pit/Em,pit	0,48	0,51	-7	0,43	0,44	-2	0,34	0,31	10
Em,kok	17,6	17,0	4						
E3min,kok/Em,kok	0,26	0,24	12						

Kääntökulman muutos (taulukot 14 ja 15)

Valaisimen kääntyminen aiheuttaa sen, että isoluksi- ja isoluminanssikäyrät kääntyvät ajoradan poikittaissuuntaisesti. Kun valaisin kääntyy laskenta-alueesta pois päin (taulukko 14) kääntyvät isoluksi- ja isoluminanssikäyrät siten, että pylväsvälin keskellä valaisinpylväiden vastakkaiselle puolelle ajorataa tulee enemmän valoa ja valaisinpylväiden puolelle ajorataa vähemmän. Tilanne on päinvastainen laskenta-alueen ulkopuolella. Ilmiö on havaittavissa taulukon 14 ± 5 metrin laskentapisteissä valaisimen 1 kohdalla.

Kun valaisin kääntyy laskenta-alueetta kohti, tilanne on päinvastainen (taulukko 15).

Ilmiön suuruus on tapauskohtaista.

Taulukko 14. Kääntökulman ν muutos $+5^\circ$, laskenta-alueesta poispäin.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	23	25	-8	30	29	3	20	19	5	val 1
0	25	25	0	34	33	3	27	27	0	
5	25	25	0	28	29	-3	18	19	-5	
10	17	17	0	12	14	-14	8	8	0	
15	12	12	0	9	11	-18	4	5	-20	
20	9	10	-10	7	9	-22	4	4	0	val 2
25	8	8	0	7	8	-13	3	4	-25	
30	9	10	-10	8	9	-11	4	4	0	
35	12	12	0	10	11	-9	5	5	0	
40	17	17	0	14	14	0	8	8	0	
45	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0	
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
Em,pit	17,8	18,2	-2	19,2	19,8	-3	12,8	12,9	-1	
E3min,pit/Em,pit	0,49	0,51	-6	0,38	0,44	-13	0,29	0,31	-7	
Em,kok	16,6	17,0	-2							
E3min.kok/Em.kok	0.22	0.24	-6							

Taulukko 15. Kääntökulman ν muutos -5° , laskenta-alueetta kohti.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	25	25	0	28	29	-3	18	19	-5	val 1
0	25	25	0	34	33	3	27	27	0	
5	23	25	-8	30	29	3	20	19	5	
10	17	17	0	16	14	14	9	8	13	
15	12	12	0	12	11	9	7	5	40	
20	9	10	-10	10	9	11	6	4	50	val 2
25	8	8	0	8	8	0	5	4	25	
30	9	10	-10	10	9	11	5	4	25	
35	12	12	0	11	11	0	5	5	0	
40	17	17	0	15	14	7	8	8	0	
45	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0	
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
Em,pit	17,8	18,2	-2	20,4	19,8	3	13,5	12,9	4	
E3min,pit/Em,pit	0,49	0,51	-6	0,46	0,44	5	0,37	0,31	20	
Em,kok	17,2	17,0	2							
E3min,kok/Em,kok	0,29	0,24	23							

Kiertokulman muutos (taulukot 16 ja 17)

Valaisimen kiertyminen laskenta-alueesta pois päin (taulukko 16) johtaa valaistusvoimakkuusarvojen pientymiseen pylväsvälin puolivälissä, mutta toisaalta myös niiden kasvamiseen lähempänä kiertynyttä valaisinta. Tämä johtuu siitä, että valonjaon reunat eivät ylety pylväsvälin puoleen väliin asti vaan ne siirtyvät kohti kiertynyttä valaisinta. Tällöin lähemmille laskentapisteille tulee enemmän valoa.

Valaisimen kiertyminen laskenta-aluetta kohti (taulukko 17) johtaa valaistusvoimakkuusarvojen pientymiseen laskenta-alueella, sillä valonjako suuntautuu ”taivaalle” eikä kohti ajorataa.

Molemmat tapaukset ovat havaittavissa myös ± 5 metrin laskentapisteissä valaisimen 1 kohdalla.

Tässäkin tapauksessa ilmiön suuruus on tapauskohtaista.

Taulukko 16. Kiertokulman ψ muutos $+5^\circ$, laskenta-alueesta pois päin.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
-5	22	25	-12	28	29	-3	20	19	5
0	26	25	4	34	33	3	28	27	4
5	26	25	4	29	29	0	18	19	-5
10	18	17	6	18	14	29	8	8	0
15	14	12	17	14	11	27	6	5	20
20	8	10	-20	9	9	0	5	4	25
25	6	8	-25	7	8	-13	3	4	-25
30	8	10	-20	8	9	-11	4	4	0
35	11	12	-8	10	11	-9	5	5	0
40	17	17	0	14	14	0	8	8	0
45	25	25	0	29	29	0	19	19	0
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0
Em,pit	17,8	18,2	-2	20,2	19,8	2	13,1	12,9	1
E3min,pit/Em,pit	0,41	0,51	-20	0,40	0,44	-9	0,31	0,31	-1
Em,kok	17,0	17,0	0						
E3min,kok/Em,kok	0,24	0,24	0						

Taulukko 17. Kiertokulman ψ muutos -5° , laskenta-aluetta kohti.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	26	25	4	29	29	0	18	19	-5	val 1
0	26	25	4	34	33	3	28	27	4	
5	22	25	-12	28	29	-3	20	19	5	
10	15	17	-12	14	14	0	8	8	0	
15	11	12	-8	9	11	-18	4	5	-20	
20	9	10	-10	8	9	-11	4	4	0	val 2
25	8	8	0	8	8	0	4	4	0	
30	10	10	0	9	9	0	4	4	0	
35	13	12	8	11	11	0	5	5	0	
40	18	17	6	15	14	7	8	8	0	
45	25	25	0	30	29	3	19	19	0	
50	25	25	0	33	33	0	27	27	0	
55	25	25	0	29	29	0	19	19	0	
Em,pit	17,9	18,2	-1	19,8	19,8	0	12,9	12,9	0	
E3min,pit/Em,pit	0,50	0,51	-2	0,42	0,44	-3	0,31	0,31	0	
Em,kok	16,9	17,0	-1							
E3min,kok/Em,kok	0,24	0,24	1							

5.7.3 Tarkastelujen yhteenveto

Todellisuudessa tietyn virhetapauksen tunnistaminen pelkkien mittaustulosten avulla ei ole niin yksiselitteistä kuin tässä tehty teoreettinen tarkastelu saattaa antaa olettaa. Siihen on monta syytä. Joidenkin asennusvirheiden vaikutukset voivat tapauksesta riippuen olla hyvinkin pieniä ja yksittäisiä, jolloin jo mittausepävarmuuden vuoksi luotettavien havaintojen tekeminen voi olla vaikeaa. Tällöin myös valaistuslaskentaohjelman pyöristykset voivat vaikuttaa merkittävästi tuloksiin. Lisäksi mittaustuloksissa saattaa olla useampia asennusvirheitä, jolloin niiden vaikutukset sekoittuvat.

Kuten tuloksista huomataan, eniten laskentatuloksiin (mittaustuloksiin) vaikuttavat valonjaon ja valovirran muutokset. Tulos on hyvä, sillä juuri valonjaon ja valovirran muutokset ovat hankalia todentaa silmämääräisesti. Sen sijaan valaisimien ja valaisinpylväiden sijoitteluun sekä suuntaukseen liittyvät asennusvirheet ovat paremmin havaittavissa silmämääräisesti. Räikeiden suuntausvirheiden vaikutukset mittaustuloksiin voidaan huomioida tarkastelussa mainituin periaattein.

Tärkeä huomioon otettava asia on lisäksi se, että tässä esitetyt esimerkkilaskennat eivät ole yleispäteviä vaan eri asennusvirheiden vaikutukset ovat tapauskohtaisia riippuen muun muassa valaisimen valonjaosta.

6 Laadunvarmistusmittaukset

Tässä työssä tehtyjen laadunvarmistusmittausten ensisijainen tarkoitus on selvittää, voidaananko yksinkertaistetuilla mittausten menetelmillä ja -pisteverkoilla saada luotettavia mittaustuloksia ja siten tehdä luotettavia johtopäätöksiä valaistusasennuksen oikeellisuudesta. Johtopäätösten perusteella pohditaan myös mittaustuloksille sallittavien poikkeamien suuruutta. Sen lisäksi tarkoituksena on mittausten menetelmän tehostaminen ja eri mittauspisteverkkojen ominaisuuksien selvittäminen. Mittaustulokset ja havainnot on esitetty tässä luvussa. Lisäksi esitetään työssä käytetyt mittausräjäkset, -valmistelut ja -menettelyt.

6.1 Mittausjärjestelyt

6.1.1 Mittausvälineet

Laadunvarmistusmittauksissa käytetty digitaalinen valaistusvoimakkuusmittari on malliltaan Hagner EC1-X nro. 51752 (kuva 12). Mittari on kalibroitu vuonna 2009 CIE:n standardivalo A:n mukaan. Kalibroinnin jälkeen mittari on ollut vähäisessä käytössä, jolloin valmistajan ohjeiden mukaan kalibrointiväli on riittävä [23]. Kalibrointitarkkuus on $\pm 3 \%$ ja lukemataarkkuus ± 1 viimeisestä numerosta.



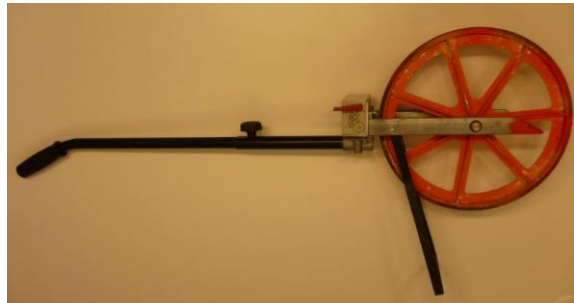
Kuva 12. Valaistusmittauksissa käytetty valaistusvoimakkuusmittari Hagner EC1-X erillisellä valoanturilla. [23]

Etäisyyksien määrittämiseen (mittauspisteiden koordinaatit, valaisinpylvään etäisyys ajoradan reunaviivaan, ajoradan leveys) käytettiin mittapyörää ja rullamittaa (kuva 13 ja kuva 14). Lukemataarkkuus molemmissa mittalaitteissa on 1 mm.

Mittauspisteverkkojen määrittämisessä käytettiin apusapluunaa (kuva 15). Apusapluunaan oli merkitty valmiiksi mittauspisteiden välinen etäisyys ajoradan poikittaissuunnassa, jolloin mittauspisteiden merkintä ajoradalle sujui nopeammin ja tarkemmin. Tämä oli tarpeen erityisesti standardinmukaisen mittauspisteverkon määrittämisessä (ks. luku 5.4.1). Mittauspisteet merkittiin ajoradan pintaan spray-maalilla.

Valoanturi kiinnitettiin aluslevyyn, joka oli kiinni mittausvarressa (kuva 16). Mittausvarren ja aluslevyn avulla valoanturi voidaan asettaa luotettavammin oikeaan

asentoon. Mittausvarren käytöllä varmistettiin myös se, ettei mittajasta aiheutuva varjo vaikuttanut mittaustuloksiin.



Kuva 13. Mittapyörä



Kuva 14. Apusapluuna.



Kuva 15. Apusapluuna.



Kuva 16. Mittausvarsi ja aluslevy.

6.1.2 Mittausvalmistelut

Mittausvalmistelut aloitettiin tutustumalla mittauskohteista saatuihin valaistuksen rakennussuunnitelmiin. Valaistuksen rakennussuunnitelma sisälsi yleensä suunnitelmakartan sekä valaistusteknilliset laskennat. Mitä enemmän valaistukseen liittyvää suunnitteluaineistoa mittauskohteesta on käytettävissä sitä parempi.

Suunnitelmakartasta etsittiin mittauksille otollisia pylväsvälejä, jotka sijaitsivat suorilla ja tasaisilla osuuksilla. Valaistusteknillisistä laskennoista selvitettiin muun muassa mittauskohteen valaisin- ja lampputyypin, asennuskorkeus sekä teoreettinen pylväsväli. Lisäksi tarkastettiin, että valaistusteknillisten vaatimusten täyttyminen oli osoitettu oikein.

Kaikki mittauskohteet (pylväsvälit) mitattiin kolmella eri mittauspisteverkolla (ks. luku 5.4). Johtuen standardinmukaisen mittauspisteverkon (ks. luku 5.4.1) ominaisuuksista, mittauspisteiden koordinaatit jouduttiin määrittelemään valmiiksi useille pylväsväleille. Koska pylväsväli saattoi todellisuudessa poiketa suunnitellusta, piti standardinmukaisen mittauspisteverkon mukaiset mittauspisteiden koordinaatit määrittää useille eri pylväsväleille (tämä tehtiin 1 metrin tarkkuudella). Lisäksi osa mitattavista pylväsväleistä valittiin vasta maastossa silmämääräisten havaintojen perusteella, joten mittauspisteiden koordinaatit piti määrittää valmiiksi eri tapauksia varten. InfraRYL:n mukaisen ja sovelletun mittauspisteverkon määrittäminen olisi ollut mahdollista vasta maastossakin, mutta yksinkertaisuuden kaikkien mittauspisteverkkojen mittauspisteiden koordinaatit määritettiin valmiiksi eri pylväsväleille.

6.1.3 Mittausmenettelyt

Mittauskohteessa liikuttiin henkilöautolla. Joskus etukäteen valittu pylväsväli jouduttiin vaihtamaan, jos mittaus ei onnistunut kyseissä kohdassa. Varsinkin ahtailla tonttikaduilla syynä olivat muun muassa kadun varteen pysäköidyt autot ja varjostavat puut tai muut esteet. Lisäksi jotkin mitattavat pylväsvälit valittiin vasta paikan päällä silmämääräisiin havaintoihin perustuen.

Mittauskohteesta kirjattiin ylös tarpeelliset havainnot. Kattavat havainnot helpottavat mittautulosten analysointia.

Valaistusmittaukset suoritettiin kahden henkilön voimin, joista toinen toimi mittajana ja toinen kirjurina.

6.2 Mittaustulokset

Tässä luvussa esitetään laadunvarmistusmittausten tulokset ja havainnot eri kohteista. Mittaustulosten perusteella on tarkoitus selvittää, voidaanko laadunvarmistusmittaukset suorittaa luotettavasti yksinkertaistetuin menetelmin. Kun mittaustulokset esitetään jokaisella mittauspisteverkolla (ks. luku 5.4), voidaan selvittää, antavatko kaikki mittauspisteverkot samansuuntaisia tuloksia. Mittaustulosten avulla on tarkoitus myös pohtia, kuinka paljon mitatut ja laskennalliset arvot saavat poiketa toisistaan.

Jokaisen mittauskohteen osalta on esitetty mittausolosuhteet sekä muut olennaiset muistiinpanot ja lähtötiedot. Mittaustulosten perusteella on lisäksi arvioitu jokaisen

mittauskohteen valaistusasennuksia. Yhteenvedo havainnoista ja tuloksista on esitetty luvussa 6.3.

Mittaustulokset on koottu luvun 5.6.1 mukaisiin taulukoihin. Mittaustuloksista on laskettu luvun 5.6.2 mukaiset tunnusluvut.

Taulukoissa esitetyt tunnusluvut on esitysteknisistä syistä pyöristetty. Niiden suhteelliset erot on kuitenkin laskettu tarkkoilla arvoilla. Laskennallisten arvojen esitystarkkuuteen vaikuttavat valaistuslaskentaohjelman ominaisuudet.

Valaistusteknilliset laskennat on tehty CalcuLuX Road 7.7.0.1 -ohjelmalla.

On huomioitava, että tässä esitetyt tasaisuudet eivät ole vertailukelpoisia valaistusteknillisissä vaatimuksissa esitettyjen tasaisuuksien kanssa. Lisäksi on huomioitava, etteivät eri mittauspisteverkoille lasketut absoluuttiset keskiarvot ole keskenään vertailukelpoisia. Vertailu eri mittauspisteverkkojen välillä tulee tehdä suhteellisten arvojen perusteella.

Taulukoissa olennaisimpia tuloksia on korostettu punaisella värillä.

Joidenkin mittauskohteiden tapauksessa on esitetty useampia taulukoita. Tällaisessa tapauksessa mitatut ja laskennalliset arvot eivät ole vastanneet toisiaan. Valaistusteknillisen tarkastelun avulla on yritetty selvittää, mikä asennusvirhe todennäköisimmin olisi tällöin kyseessä.

6.2.1 Mt 170 Helsingintie, Kilpilahti, Uudenmaan ELY-keskus

Pylväsväli 132–133

Pylväät nro:	132–133
Pylväsväli S :	43 m
Ajoradan leveys W_r :	7 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	26.4.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön taivas, +1 °C
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4a. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -3,2 m. Valaisinvarren pituus 2 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,6 m. Arvio: valaisin 133 kiertynyt n. 1 ° mittausalueesta poispäin.

Tulokset on esitetty taulukoissa 18–20. Tuloksista nähdään, että mitatut ja laskennalliset keskiarvot vastaavat toisiaan, mistä voidaan päätellä, että ajoradalle tulee oikea määrä valoa. Kaikki mittauspisteverkot antavat samansuuntaisia tuloksia.

Kun tarkastellaan yksittäisiä arvoja, huomataan, että mittausalueen keskiosaan valaisinpylväiden puolelle ajorataa tulee laskennallista enemmän valoa, ja valaisinpylväiden vastakkaiselle puolelle ajorataa liian vähän valoa. Tämä vaikuttaa myös tasaisuusarvoihin. Nämä eivät ole yksittäisiä mittausvirheitä, sillä tulos esiintyy useissa mittauspisteissä kaikilla mittauspisteverkoilla.

Koska ajoradan pinnalle tulee oikea määrä valoa, on valaisimien valonjaossa todennäköisesti vikaa. Manta-valaisimelta löytyy toinen valonjako, mutta valaistusteknillinen tarkastelu osoittaa, ettei sekään selitä eroja mitattujen arvojen ja laskennallisten arvojen välillä. Lisätarkastelut osoittavat, etteivät muutkaan yleiset asennusvirheet selitä eroja mitattujen arvojen ja laskennallisten arvojen välillä.

Valaisimen valonjakoon vaikuttaa muun muassa heijastimen ominaisuudet. Tarkempia johtopäätöksiä varten tulee valaisimen heijastin tutkia esimerkiksi valmistusvirheiden osalta.

Taulukko 18. Mt 170, pylväsväli 132–133.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)														
		0,7			2,1			3,5			4,9			6,3		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
132	1,43	26,8	28	-4	31,5	33	-5	34,7	35	-1	34,2	32	7	31	26	19
	4,3	22,4	23	-3	29,2	30	-3	33,1	34	-3	32	33	-3	28	26	8
	7,16	17,5	18	-3	24,8	27	-8	30,5	35	-13	30	33	-9	26,4	26	2
	10,03	10,5	12	-13	15,8	19	-17	19	27	-30	20,4	26	-22	18	19	-5
	12,9	8,4	8	5	12,1	12	1	14,2	16	-11	13,5	16	-16	11,8	14	-16
	15,77	7	7	0	9,8	11	-11	11,1	14	-21	11	15	-27	10,1	14	-28
	18,63	6,2	6	3	8	9	-11	9,7	11	-12	10	12	-17	9,5	12	-21
	21,5	6,5	6	8	8,1	9	-10	9,2	11	-16	9	12	-25	8,7	12	-28
	24,37	6,7	6	12	8,5	9	-6	9,7	11	-12	9,8	12	-18	9,3	12	-23
	27,23	7,9	7	13	10,5	11	-5	12,1	14	-14	12,5	15	-17	11,3	14	-19
	30,1	10	8	25	13,9	12	16	16,5	16	3	16,5	16	3	14,7	14	5
	32,97	12,5	12	4	18,7	19	-2	22,2	27	-18	20,9	26	-20	19	19	0
	35,84	17,7	18	-2	25,9	27	-4	33,2	35	-5	31,9	33	-3	27,1	26	4
	38,7	24,2	23	5	32	30	7	37	34	9	35,7	33	8	30,5	26	17
	41,57	28,6	28	2	34	33	3	37,5	35	7	35,2	32	10	32,4	26	25
Em,pit		14,2	14,0	1	18,9	19,4	-3	22,0	23,7	-7	21,5	23,1	-7	19,2	19,1	1
E3min,pit/Em,pit		0,46	0,43	6	0,43	0,46	-6	0,43	0,46	-7	0,45	0,52	-14	0,48	0,63	-24
Em,kok		19,1	19,8	-4												
E3min,kok/Em,kok		0,34	0,30	12												

Taulukko 19. Mt 170, pylväsväli 132–133.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
132	-5	18,3	19	-4	34	36	-6	25,2	22	15
	0	22,2	27	-18	33,5	34	-1	27	25	8
	5	16,6	19	-13	33	36	-8	26	22	18
	18,63	5,3	6	-12	9,7	13	-25	9,1	12	-24
	21,5	5,8	4	45	9,2	11	-16	8,2	12	-32
	24,37	5,9	6	-2	9,7	13	-25	8,9	12	-26
133	38	26,8	19	41	35,4	36	-2	26,8	22	22
	43	24,9	27	-8	37,5	34	10	28,3	25	13
	48	20,4	19	7	33,1	36	-8	25,3	22	15
Em,pit		16,2	16,2	0	26,1	27,7	-6	20,5	19,3	6
E3min,pit/Em,pit		0,35	0,33	6	0,36	0,45	-18	0,43	0,62	-31
Em,kok		21,0	21,1	-1						
E3min,kok/Em,kok		0,27	0,25	7						

Taulukko 20. Mt 170, pylväsväli 132–133.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
132	1,5	23,8	26	-8	34,7	35	-1	27,2	24	13
	6,5	15,5	17	-9	31,6	37	-15	23,3	21	11
	11,5	7	8	-13	15,7	19	-17	12,2	13	-6
	16,5	5,9	5	18	10,9	13	-16	9,4	12	-22
	21,5	5,8	4	45	9,2	11	-16	8,2	12	-32
	26,5	6,5	5	30	11,5	13	-12	10,3	12	-14
	31,5	9,3	8	16	20	19	5	14,9	13	15
	36,5	16,4	17	-4	34,4	37	-7	24	21	14
133	41,5	25,3	26	-3	37,5	35	7	28,5	24	19
	Em,pit	12,8	12,9	0	22,8	24,3	-6	17,6	16,9	4
	E3min,pit/Em,pit	0,47	0,36	31	0,46	0,51	-9	0,53	0,71	-25
	Em,kok	17,7	18,0	-2						
	E3min,kok/Em,kok	0,34	0,26	32						

Pylväsväli 139–140

Pylväät nro:	139–140
Pylväsväli S :	43 m
Ajoradan leveys W_r :	7 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	7.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön taivas, +6 °C
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4a. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -3,1 m. Valaisinvarren pituus 2 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,5 m. Pylväs 139 kallistunut hieman mittausaluetta kohti ja valaisin kääntynyt mittausalueesta poispäin. Pylväs 140 kallistunut ajoradasta poispäin ja hieman mittausaluetta kohti.

Tulokset on esitetty taulukoissa 21–23. Tuloksista nähdään, että mitatut ja laskennalliset keskiarvot vastaavat toisiaan, mistä voidaan päätellä, että ajoradalle tulee oikea määrä valoa. Kaikki mittauspisteverkot antavat samansuuntaisia tuloksia.

Kun tarkastellaan yksittäisiä arvoja, huomataan, että tilanne on samanlainen kuin pylväsvälillä 132–133. Mittausalueen keskiosaan valaisinpylväiden puolelle ajorataa tulee laskennallista enemmän valoa, ja valaisinpylväiden vastakkaiselle puolelle ajorataa liian vähän valoa. Tämä vaikuttaa myös tasaisuusarvoihin. Nämä eivät ole yksittäisiä mittausvirheitä, sillä tulos esiintyy useissa mittauspisteissä kaikilla mittauspisteverkoilla.

Tässäkään tapauksessa yleiset asennusvirheet eivät valaistusteknillisen tarkastelun perusteella selitä eroja mitattujen arvojen ja laskennallisten arvojen välillä.

Tuloksiin vaikuttaa jonkin verran se, että valaisimet ja valaisinpylväät eivät ole täysin suorassa. Kallistumisen tarkkaa suuruutta on hankala arvioida silmämääräisesti. Toisaalta taulukon 22 mittaus tuloksista voidaan nähdä, että valaisimet näyttäisivät vastoin silmämääräisiä havaintoja olevan suorassa. Valaistusvoimakkuudet ovat lähes samoja valaisimien molemmin puolin, mutta valaisimen 139 kohdalla valaistusvoimakkuudet ovat selvästi suuremmat. Tämä voi johtua siitä, että valaisimien asennuskorkeudet ovat erilaiset.

Taulukko 21. Mt 170, pylväsväli 139–140.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)														
		0,7			2,1			3,5			4,9			6,3		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
139	1,43	28,1	28	0	33,6	33	2	36,8	35	5	34,4	32	8	28,4	27	5
	4,3	27,4	22	25	34,8	30	16	37,6	34	11	35,7	33	8	28,7	27	6
	7,16	22,3	17	31	32,3	27	20	36,3	34	7	33	33	0	24,5	26	-6
	10,03	15	12	25	20,2	19	6	22,4	27	-17	19,9	27	-26	15,5	20	-23
	12,9	11,1	8	39	14,9	12	24	16,6	15	11	15,8	16	-1	13,7	14	-2
	15,77	9,8	6	63	12,9	10	29	14	14	0	13,7	15	-9	12,2	14	-13
	18,63	8,5	6	42	11,3	9	26	11,8	11	7	11,4	12	-5	10,2	12	-15
	21,5	8,6	5	72	10,6	9	18	11,1	11	1	11	12	-8	10	13	-23
	24,37	8,5	6	42	11,3	9	26	12,5	11	14	12,4	12	3	11,3	12	-6
	27,23	8,3	6	38	11,6	10	16	13,9	14	-1	14,3	15	-5	12,9	14	-8
	30,1	8,9	8	11	13,6	12	13	15,5	15	3	14,5	16	-9	13	14	-7
	32,97	19,6	12	63	22,4	19	18	23,3	27	-14	19,7	27	-27	12,5	20	-38
	35,84	25	17	47	29,5	27	9	29,5	34	-13	25,6	33	-22	17,6	26	-32
	38,7	23,8	22	8	26,4	30	-12	28	34	-18	25	33	-24	17,3	27	-36
	41,57	25,6	28	-9	29,3	33	-11	32,2	35	-8	30,6	32	-4	26,9	27	0
Em,pit		16,7	13,5	23	21,0	19,3	9	22,8	23,4	-3	21,1	23,2	-9	17,0	19,5	-13
E3min,pit/Em,pit		0,50	0,42	21	0,53	0,47	13	0,52	0,47	10	0,55	0,52	6	0,62	0,63	-2
Em,kok		19,7	19,8	0												
E3min,kok/Em,kok		0,43	0,29	49												

Taulukko 22. Mt 170, pylväsväli 139–140.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva					
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
139	-3	24	22	9	36,3	31	17	26	24	8
	0	19,6	27	-27	33,8	34	-1	24,9	25	0
	3	23,9	22	9	37	31	19	25	24	4
	10,75	11,7	9	30	20,3	23	-12	11,6	15	-23
	18,5	8	4,6	74	11,8	11,4	4	9,5	11,9	-20
	21,5	7,5	4,3	74	11,1	11,1	0	9,1	12	-24
	24,5	7,2	4,6	57	12,7	11,4	11	10,3	11,9	-13
140	32,25	14,6	9	62	21,1	23	-8	9,9	15	-34
	40	19,2	22	-13	30,4	31	-2	24,1	24	0
	43	21,3	27	-21	31,4	34	-8	24,5	25	-2
	46	19,3	22	-12	29	31	-6	23,9	24	0
Em,pit		14,7	13,8	7	22,8	23,0	-1	16,4	18,1	-9
E3min,pit/Em,pit		0,51	0,33	58	0,52	0,49	6	0,58	0,66	-12
Em,kok		18,0	18,3	-2						
E3min,kok/Em,kok		0,42	0,25	71						

Taulukko 23. Mt 170, pylväsväli 139–140.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
139	1,5	24,8	27	-8	37,2	35	6	25	24	4
	6,5	19,4	16	21	38	37	3	20,8	22	-5
	11,5	10,5	8	31	18,9	19	-1	11,1	14	-21
	16,5	8,3	5	66	13,8	13	6	10,4	12	-13
	21,5	7,5	4	88	11,1	11	1	9,1	12	-24
	26,5	6,8	5	36	13,6	13	5	11,3	12	-6
	31,5	12,8	8	60	18	19	-5	9,5	14	-32
	36,5	21,5	16	34	30	37	-19	15,5	22	-30
140	41,5	22,7	27	-16	32	35	-9	23,8	24	-1
	Em,pit	14,9	12,9	16	23,6	24,3	-3	15,2	17,3	-13
	E3min,pit/Em,pit	0,50	0,36	39	0,54	0,51	7	0,64	0,69	-8
	Em,kok	17,9	18,2	-2						
	E3min,kok/Em,kok	0,42	0,26	64						

6.2.2 Mt 11746 Kilpilahdentie, Uudenmaan ELY-keskus

Pylväsväli 223–224

Pylväät nro:	223–224
Pylväsväli <i>S</i> :	57 m
Ajoradan leveys <i>W_r</i> :	7 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	7.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön taivas, +6 °C
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,7 m. Valaisinvarren pituus 1,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,6m. Valaisin 223 kääntynyt mittausalueesta pois päin.

Tulokset on esitetty taulukoissa 24–26. Tuloksista nähdään, että mitatut ja laskennalliset keskiarvot vastaavat toisiaan, mistä voidaan päätellä, että ajoradalle tulee oikea määrä valoa. Kaikki mittauspisteverkot antavat samansuuntaisia tuloksia. Tilanne on vastaavanlainen kuin luvun 6.2.1 pylväsvälien 132–133 ja 139–140 tapauksissa.

Kun tarkastellaan yksittäisiä arvoja, huomataan, että mittausalueen keskiosaan valaisinpylväiden puolelle ajorataa tulee laskennallista enemmän valoa ja valaisinpylväiden vastakkaiselle puolelle ajorataa tulee liian vähän valoa. Tämä vaikuttaa myös tasaisuusarvoihin. Nämä eivät ole yksittäisiä mittausvirheitä, sillä tulos esiintyy useissa mittauspisteissä kaikilla mittauspisteverkoilla.

Koska valaisin on sama kuin edellisissä tapauksissa, eikä selitystä löydetty valaistusteknillisen tarkastelun avulla muistakaan yleisimmistä asennusvirheistä, on valaisimen valonjaossa todennäköisesti vikaa, esimerkiksi heijastimen valmistusvirhe.

Taulukko 24. Mt 11746, pylväsväli 223–224.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)														
	0,7			2,1			3,5			4,9			6,3		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
1,5	25,7	26	-1	32	32	0	34,8	34	2	34,2	33	4	30,9	28	10
4,5	22,5	26	-13	30	33	-9	33,1	34	-3	31,8	30	6	25,8	22	17
7,5	19,2	23	-17	27	30	-10	29,9	32	-7	26,4	25	6	18,6	16	16
10,5	14	16	-13	18,9	22	-14	20,9	23	-9	17,6	17	4	11,9	10	19
13,5	9,7	12	-19	11,3	14	-19	12,2	14	-13	11,5	11	5	8	7	14
16,5	7,7	10	-23	8,3	11	-25	8,4	11	-24	7,7	8	-4	5,4	5	8
19,5	6,2	8	-23	6,5	8	-19	6,6	8	-18	5,4	6	-10	3,8	4	-5
22,5	4,7	7	-33	5	7	-29	4,7	6	-22	4,2	5	-16	3,3	3	10
25,5	4	6	-33	4,2	6	-30	4	5	-20	3,7	4	-8	3	3	0
28,5	3,9	5	-22	4	5	-20	4	5	-20	3,8	4	-5	3,3	3	10
31,5	4,1	6	-32	4,5	6	-25	4,5	5	-10	4	4	0	3,6	3	20
34,5	5,5	7	-21	5,8	7	-17	5,8	6	-3	5,7	5	14	4,6	3	53
37,5	6,8	8	-15	7,8	8	-3	7,8	8	-3	7,6	6	27	6,2	4	55
40,5	8,2	10	-18	9,5	11	-14	10,2	11	-7	9,7	8	21	7,6	5	52
43,5	9,3	12	-23	11,6	14	-17	13	14	-7	12,8	11	16	10	7	43
46,5	15,8	16	-1	20,6	22	-6	23	23	0	21,2	17	25	15	10	50
49,5	20,4	23	-11	27,5	30	-8	30,3	32	-5	27,3	25	9	20,2	16	26
52,5	23,6	26	-9	28,1	33	-15	31,1	34	-9	28,8	30	-4	24,4	22	11
55,5	26,9	26	3	33,7	32	5	35	34	3	33,2	33	1	28,8	28	3
Em,pit	12,5	14,4	-13	15,6	17,4	-10	16,8	17,8	-6	15,6	14,8	5	12,3	10,5	18
E3min,pit/Em,pit	0,32	0,39	-19	0,27	0,33	-17	0,25	0,28	-12	0,25	0,27	-9	0,26	0,29	-9
Em,kok	14,6	15,0	-3												
E3min,kok/Em,kok	0,22	0,20	10												

Taulukko 25. Mt 11746, pylväsväli 223–224.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
-3	22	23	-4	30,7	31	-1	21,7	22	-1
0	21,9	15	46	35,2	34	4	27,4	27	1
3	20,8	23	-10	32,3	31	4	24,2	22	10
14,25	8,5	12	-29	11,9	13	-8	5,9	5	18
25,5	3,8	5,8	-34	4	5,2	-23	2,7	2,3	17
28,5	3,7	5,4	-31	4	4,8	-17	2,9	2,2	32
31,5	4	5,8	-31	4,5	5,2	-13	3,3	2,3	43
42,75	7,7	12	-36	12,3	13	-5	7,7	5	54
54	23,4	23	2	34,4	31	11	24,9	22	13
57	23,7	25	-5	36	34	6	26,4	27	-2
60	23,1	23	0	33,5	31	8	23,6	22	7
Em,pit	14,8	15,7	-6	21,7	21,2	2	15,5	14,4	7
E3min,pit/Em,pit	0,26	0,36	-28	0,19	0,24	-20	0,19	0,16	22
Em,kok	17,3	17,1	1						
E3min,kok/Em,kok	0,17	0,13	29						

Taulukko 26. Mt 11746, pylväsväli 223–224.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
3,5	20,6	23	-10	32,8	31	6	24,2	21	15	223
8,5	14,4	17	-15	27,6	28	-1	13,4	12	12	
13,5	8,7	11	-21	12,2	14	-13	6,3	6	5	
18,5	6	8	-25	7,5	9	-17	3,6	3	20	
23,5	4,3	6	-28	4,4	6	-27	2,6	2	30	
28,5	3,7	5	-26	4	5	-20	2,9	2	45	
33,5	4,5	6	-25	5,3	6	-12	3,7	2	85	
38,5	6,7	8	-16	8,7	9	-3	5,8	3	93	
43,5	7,9	11	-28	13	14	-7	8,3	6	38	
48,5	15,2	17	-11	28,3	28	1	15	12	25	
53,5	23,5	23	2	32,1	31	4	23,1	21	10	224
Em,pit	10,5	12,3	-14	16,0	16,5	-3	9,9	8,2	21	
E3min,pit/Em,pit	0,40	0,46	-14	0,29	0,34	-17	0,31	0,24	25	
Em,kok	12,1	12,3	-1							
E3min,kok/Em,kok	0,25	0,16	54							

Pylväsväli 254–255

Pylväät nro:	254–255
Pylväsväli S :	55 m
Ajoradan leveys W_r :	7 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	7.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön taivas, +6 °C
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 5 °. Valaisinpylvään 254 etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,5 m. Valaisinpylvään 255 etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,75 m. Valaisinvarren pituus 1,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta keskimäärin -0,5 m. (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin -2,6 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta) Valaisin 255 kääntynyt hieman mittausaluetta kohti, mutta pylväs hieman kallellaan mittausalueesta poispäin.

Tulokset on esitetty taulukoissa 27–29. Kaikki mittauspisteverkot antavat samansuuntaisia tuloksia.

Kun tarkastellaan yksittäisiä arvoja, huomataan, että mittausalueen keskiosaan valaisinpylväiden puolelle ajorataa tulee laskennallista enemmän valoa ja valaisinpylväiden vastakkaiselle puolelle ajorataa tulee liian vähän valoa. Tämä vaikuttaa myös tasaisuusarvoihin. Nämä eivät ole yksittäisiä mittausvirheitä, sillä tulos esiintyy useissa mittauspisteissä kaikilla mittauspisteverkoilla.

Erona edellisiin tapauksiin on se, että nyt myös mitatut ja laskennalliset kokonaiskeskiarvot eroavat. Syynä tähän voi olla, että valaisimet sijaitsevat sähkönsyötön loppupäässä, jolloin jännitteenalenema voi vaikuttaa valaisimien valovirtaan. Jännitteenalenema tulee mitata.

Mittaustuloksista on myös huomattavissa, että valaisinpylvään 255 kohdalla mitatut valaistusvoimakkuusarvot ovat selvästi laskennallisia arvoja pienemmät kuin valaisinpylvään 254 kohdalla. Vika voi siis olla myös valaisimen 255 lampussa.

Taulukko 27. Mt 11746, pylväsväli 254–255.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)														
	0,7			2,1			3,5			4,9			6,3		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
1,45	29,9	26	15	34,8	32	9	36,3	35	4	33	33	0	27,7	28	-1
4,34	28	27	4	33,6	32	5	35	33	6	31,4	30	5	22,7	22	3
7,24	21,6	25	-14	28,1	32	-12	29,5	33	-11	23,9	26	-8	14,7	17	-14
10,13	15,3	18	-15	20,4	25	-18	21,9	25	-12	19,4	17	14	13,3	11	21
13,03	13,2	13	2	15,4	15	3	16,7	14	19	15,2	10	52	10,5	7	50
15,92	9,8	11	-11	11,2	12	-7	11,8	12	-2	10,9	9	21	8	5	60
18,82	6,7	9	-26	7,6	9	-16	7,9	8	-1	7,4	6	23	5,9	4	48
21,71	5	8	-38	5,4	8	-33	5,4	7	-23	5,3	6	-12	4,4	3	47
24,61	4	6	-33	4,1	6	-32	4,1	6	-32	3,7	5	-26	3	3	0
27,5	3,3	6	-45	3,6	6	-40	3,5	5	-30	3,2	4	-20	2,7	3	-10
30,39	3,8	6	-37	4,1	6	-32	4	6	-33	3,6	5	-28	3	3	0
33,9	4,7	8	-41	4,9	8	-39	4,8	7	-31	4,5	6	-25	3,7	3	23
36,18	5,5	9	-39	5,9	9	-34	5,9	8	-26	5,5	6	-8	4	4	0
39,08	6,7	11	-39	7,1	12	-41	8	12	-33	7	9	-22	5,2	5	4
41,97	8,4	13	-35	10	15	-33	10,6	14	-24	9,2	10	-8	6,8	7	-3
44,87	13,6	18	-24	16,6	25	-34	17,9	25	-28	16,6	17	-2	11,4	11	4
47,76	17	25	-32	22,8	32	-29	24,5	33	-26	22,1	26	-15	16,2	17	-5
50,66	18,8	27	-30	23,4	32	-27	25,7	33	-22	24,7	30	-18	20,6	22	-6
53,55	22,3	26	-14	28	32	-13	30	35	-14	26,5	33	-20	23	28	-18
Em,pit	12,5	15,4	-19	15,1	18,3	-18	16,0	18,5	-14	14,4	15,2	-5	10,9	10,7	2
E3min,pit/Em,pit	0,30	0,39	-24	0,26	0,33	-21	0,24	0,31	-21	0,24	0,31	-21	0,27	0,28	-5
Em,kok	13,8	15,6	-12												
E3min,kok/Em,kok	0,21	0,19	10												

Taulukko 28. Mt 11746, pylväsväli 254–255.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
-3	25,5	23	11	32	31	3	20,5	22	-7
0	27,3	25	9	35,1	34	3	24	27	-11
3	26	23	13	34,7	31	12	22,9	22	4
13,75	11,3	12	-6	15	14	7	8,2	5	64
24,5	4	6,5	-38	4,1	5,8	-29	2,6	2,5	4
27,5	3,3	6	-45	3,5	5,4	-35	2,4	2,4	0
30,5	3,8	6,5	-42	4	5,8	-31	2,7	2,5	8
41,25	6,6	12	-45	9,5	14	-32	5,6	5	12
52	19	23	-17	27,2	31	-12	21	22	-5
55	20,8	25	-17	31	34	-9	24	27	-11
58	19	23	-17	27,8	31	-10	21	22	-5
Em,pit	15,1	16,8	-10	20,4	21,5	-6	14,1	14,5	-3
E3min,pit/Em,pit	0,24	0,38	-35	0,19	0,26	-28	0,18	0,17	7
Em,kok	16,5	17,6	-6						
E3min,kok/Em,kok	0,16	0,14	11						

Taulukko 29. Mt 11746, pylväsväli 254–255.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
2,5	26,8	23	17	34,8	32	9	23,1	23	0	254
7,5	17	19	-11	28,4	32	-11	11	14	-21	
12,5	11,7	11	6	17,2	15	15	8,9	6	48	
17,5	7,3	9	-19	9,7	9	8	5,9	4	48	
22,5	4,5	7	-36	5,1	7	-27	3,7	3	23	
27,5	3,3	6	-45	3,5	5	-30	2,4	2	20	
32,5	4,3	7	-39	4,8	7	-31	2,9	3	-3	
37,5	5,5	9	-39	6,8	9	-24	4	4	0	
42,5	7,9	11	-28	12,5	15	-17	6,2	6	3	
47,5	14	19	-26	24,5	32	-23	13,1	14	-6	
52,5	19	23	-17	28,3	32	-12	22,1	23	-4	255
Em,pit	11,0	13,1	-16	16,0	17,7	-10	9,4	9,3	1	
E3min,pit/Em,pit	0,37	0,51	-28	0,28	0,36	-22	0,32	0,29	11	
Em,kok	12,1	13,4	-9							
E3min,kok/Em,kok	0,24	0,20	18							

Pylväsväli 263–264

Pylväät nro:	263–264
Pylväsväli S :	55 m
Ajoradan leveys W_r :	7 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	7.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön taivas, +6 °C
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 5 °. Valaisinpylvään 263 etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,3 m. Valaisinpylvään 264 etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,9 m. Valaisinvarren pituus 1,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta keskimäärin -0,5 m (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin -2,6 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta). Valaisin 263 kääntynyt mittausalueesta pois päin. Valaisin 264 kääntynyt mittausaluetta kohti.

Tulokset esitetty taulukoissa 30–32. Tilanne on vastaavanlainen kuin aikaisemmissa tapauksissa.

Mitatut ja laskennalliset keskiarvot vastaavat toisiaan, mistä voidaan päätellä, että ajoradalle tulee oikea määrä valoa. Standardinmukainen mittauspisteverkko osoittaa hieman suurempaa eroa mitattujen ja laskennallisten keskiarvojen välillä, mutta ero muihin mittauspisteverkkoihin ei ole merkittävä. Muuten kaikki mittauspisteverkot antavat samansuuntaisia tuloksia.

Kun tarkastellaan yksittäisiä arvoja, huomataan, että mittausalueen keskiosaan valaisinpylväiden puolelle ajorataa tulee laskennallista enemmän valoa ja valaisinpylväiden vastakkaiselle puolelle ajorataa tulee liian vähän valoa. Tämä vaikuttaa myös tasaisuusarvoihin. Nämä eivät ole yksittäisiä mittausvirheitä, sillä tulos esiintyy useissa mittauspisteissä kaikilla mittauspisteverkoilla.

Mittautuloksista on myös huomattavissa, että valaisinpylvään 264 kohdalla mitatut valaistusvoimakkuusarvot ovat laskennallisia arvoja pienemmät kuin valaisinpylvään 263 kohdalla. Vika voi siis olla valaisimen 264 lampussa. Osaksi syy voi olla myös siinä, että valaisinpylvään 264 etäisyys ajoradan reunaviivasta on hieman suurempi kuin valaisinpylvään 263.

Taulukko 30. Mt 11746, pylväsväli 263–264.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)														
	0,7			2,1			3,5			4,9			6,3		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
1,45	29,3	26	13	34,5	32	8	36	35	3	32,6	33	-1	27,4	28	-2
4,34	27,6	27	2	34,5	32	8	36,7	33	11	31,9	30	6	23	22	5
7,24	25,3	25	1	31,4	32	-2	33	33	0	26,9	26	3	17,7	17	4
10,13	14,8	18	-18	19,6	25	-22	20,4	25	-18	17,7	17	4	12,7	11	15
13,03	12,7	13	-2	14,3	15	-5	15	14	7	13,2	10	32	9,3	7	33
15,92	9,7	11	-12	11,3	12	-6	11,1	12	-8	10,2	9	13	7	5	40
18,82	6,6	9	-27	7,3	9	-19	7,4	8	-8	6,8	6	13	5	4	25
21,71	4,8	8	-40	5	8	-38	5,3	7	-24	4,7	6	-22	4	3	33
24,61	3,9	6	-35	4,1	6	-32	4,1	6	-32	3,8	5	-24	3	3	0
27,5	3,3	6	-45	3,6	6	-40	7	5	40	3,4	4	-15	3	3	0
30,39	4,2	6	-30	4,5	6	-25	4,5	6	-25	4,2	5	-16	3,3	3	10
33,9	5,7	8	-29	6,2	8	-23	6,2	7	-11	5,9	6	-2	4,8	3	60
36,18	6,7	9	-26	7,5	9	-17	7,5	8	-6	6,7	6	12	5,6	4	40
39,08	8,3	11	-25	9,1	12	-24	9,3	12	-23	8,3	9	-8	6,8	5	36
41,97	9	13	-31	10,8	15	-28	11,5	14	-18	10,6	10	6	8,7	7	24
44,87	14,5	18	-19	18	25	-28	19,8	25	-21	17,5	17	3	13,3	11	21
47,76	19,7	25	-21	24	32	-25	25,5	33	-23	22,8	26	-12	17,8	17	5
50,66	23,5	27	-13	26,8	32	-16	28	33	-15	25,9	30	-14	21,9	22	0
53,55	28,6	26	10	35	32	9	36,3	35	4	33	33	0	28,5	28	2
Em,pit	13,6	15,4	-12	16,2	18,3	-12	17,1	18,5	-8	15,1	15,2	-1	11,7	10,7	10
E3min,pit/Em,pit	0,28	0,39	-28	0,25	0,33	-23	0,27	0,31	-12	0,25	0,31	-18	0,26	0,28	-6
Em,kok	14,7	15,6	-6												
E3min,kok/Em,kok	0,21	0,19	9												

Taulukko 31. Mt 11746, pylväsväli 263–264.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
-3	25	23	9	32,3	31	4	21,5	22	-2
0	26,1	25	4	34,3	34	1	23,5	27	-13
3	25,2	23	10	35,2	31	14	21,4	22	-3
13,75	11	12	-8	13,6	14	-3	6,8	5	36
24,5	3,9	6,5	-40	4,2	5,8	-28	2,8	2,5	12
27,5	3,1	6	-48	7	5,4	30	2,6	2,4	8
30,5	4	6,5	-38	4,6	5,8	-21	3,2	2,5	28
41,25	8	12	-33	10,7	14	-24	7	5	40
52	24	23	4	31,7	31	2	23,1	22	5
55	25,5	25	2	38,3	34	13	26,9	27	0
58	23,3	23	1	37,9	31	22	22,4	22	2
Em,pit	16,3	16,8	-3	22,7	21,5	5	14,7	14,5	1
E3min,pit/Em,pit	0,23	0,38	-40	0,23	0,26	-12	0,20	0,17	15
Em,kok	17,9	17,6	1						
E3min,kok/Em,kok	0,16	0,14	13						

Taulukko 32. Mt 11746, pylväsväli 263–264.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
2,5	26,1	23	13	36,1	32	13	22,7	23	-1	263
7,5	19,6	19	3	32,5	32	2	14,2	14	1	
12,5	11,5	11	5	15,8	15	5	7,8	6	30	
17,5	7,6	9	-16	9,3	9	3	5,1	4	28	
22,5	4,3	7	-39	4,7	7	-33	3,3	3	10	
27,5	3,1	6	-48	7	5	40	2,6	2	30	
32,5	4,4	7	-37	5,3	7	-24	3,8	3	27	
37,5	7,1	9	-21	8,5	9	-6	5,5	4	38	
42,5	8,5	11	-23	12,9	15	-14	7,9	6	32	
47,5	16,3	19	-14	25,2	32	-21	14,9	14	6	264
52,5	24	23	4	31,7	32	-1	23,7	23	3	
Em,pit	12,0	13,1	-8	17,2	17,7	-3	10,1	9,3	9	
E3min,pit/Em,pit	0,33	0,51	-36	0,33	0,36	-8	0,32	0,29	11	
Em,kok	13,1	13,4	-2							
E3min,kok/Em,kok	0,23	0,20	15							

Pylväsväli 294–295

Pylväät nro:	294–295
Pylväsväli S :	54 m
Ajoradan leveys W_r :	7,75 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	26.4.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön taivas, +1 °C
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,6 m. Valaisinvarren pituus 1,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,5 m. Valaisin 294 kääntynyt mittausaluetta kohti. Valaisin 295 kiertynyt mittausalueesta pois päin.

Pylväsväliin 294–295 kiinnitettiin huomiota siksi, että pylväsvälin keskellä oli erittäin tumma kohta, joka havaittiin silmämääräisesti. Silmämääräisten havaintojen perusteella voidaan jo todeta, että valaistusteknilliset vaatimukset eivät täyty kyseisellä pylväsvälillä.

Tulokset on esitetty taulukoissa 33–35. Tuloksista nähdään, ettei valoa tule riittävästi pylväsvälin keskelle. Mitatut kokonaiskeskiarvot ovat jopa laskennallisia kokonaiskeskiarvoja paremmat, mutta tasaisuusarvot paljastavat asennusvirheet. Sama voidaan huomata myös yksittäisiä mittauspisteitä tutkimalla, sillä pylväsvälin keskellä valaistusvoimakkuusarvot ovat liian pieniä laskennallisiin arvoihin verrattuna.

Silmämääräiset havainnot osoittivat, että valaisimet olivat vinossa. Valaisimet tulee suoristaa.

Kaikki mittauspisteverkot antavat samansuuntaisia tuloksia.

Tärkeä huomio on, että mittaustuloksia tulee aina tutkia kokonaisvaltaisesti keskiarvojen lisäksi.

Taulukko 33. Mt 11746, pylväsväli 294–295.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)																							
		0,65			1,94			3,23			4,53			5,82			7,11								
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
295	52,5	27,5	28	-2	32,4	32	1	34,5	35	-1	32,7	33	-1	29	28	4	23,7	23	3						
	49,5	25,2	21	20	35,8	29	23	40	34	18	37,8	34	11	30	30	0	20,5	22	-7						
	46,5	20,1	16	26	29,2	23	27	33,1	31	7	30,6	31	-1	23,7	28	-15	14,6	18	-19						
	43,5	14,3	10	43	19,9	15	33	22	23	-4	20,1	23	-13	15,9	19	-16	10,7	14	-24						
	40,5	11,2	6	87	15,1	10	51	16,8	13	29	16,7	14	19	14,4	14	3	10,1	11	-8						
	37,5	7,6	5	52	10,3	8	29	11,2	11	2	10,4	12	-13	9,3	11	-15	7,3	10	-27						
	34,5	5,2	4	30	6,5	6	8	6,8	8	-15	6,5	9	-28	6,3	9	-30	5,5	8	-31						
	31,5	2,7	3	-10	3,2	5	-36	3,5	7	-50	3,7	7	-47	3,7	8	-54	3,3	7	-53						
	28,5	1,7	3	-43	1,9	5	-62	2,2	6	-63	2,2	6	-63	2,2	6	-63	2,1	7	-70						
	25,5	1,5	3	-50	1,9	5	-62	2,1	6	-65	2,3	6	-62	2,2	6	-63	2,1	7	-70						
	22,5	1,8	3	-40	2,6	5	-48	2,7	7	-61	3,2	7	-54	3,1	8	-61	2,8	7	-60						
	19,5	4	4	0	5,2	6	-13	5,8	8	-28	6,1	9	-32	5,7	9	-37	5,2	8	-35						
	16,5	5,7	5	14	8	8	0	10	11	-9	11,3	12	-6	10,3	11	-6	8,5	10	-15						
	13,5	8,3	6	38	12	10	20	15,1	13	16	16,3	14	16	15,1	14	8	12,5	11	14						
	10,5	11,4	10	14	17,7	15	18	22	23	-4	22,2	23	-3	20,3	19	7	15	14	7						
	7,5	16,5	16	3	25,6	23	11	34,5	31	11	36,8	31	19	42	28	50	22	18	22						
	4,5	23,7	21	13	35,3	29	22	41,8	34	23	43,7	34	29	39,4	30	31	26,9	22	22						
294	1,5	21,5	28	-23	35,1	32	10	39,5	35	13	38,5	33	17	35,5	28	27	28,2	23	23						
	Em,pit	11,7	10,7	9	16,5	14,8	12	19,1	18,7	2	19,0	18,8	1	17,1	17,0	1	12,3	13,3	-8						
	E3min,pit/Em,pit	0,14	0,28	-49	0,13	0,34	-62	0,12	0,34	-64	0,14	0,34	-60	0,15	0,39	-63	0,19	0,53	-64						
	Em,kok	15,9	15,5	3																					
	E3min,kok/Em,kok	0,10	0,19	-46																					

Taulukko 34. Mt 11746, pylväsväli 294–295.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
295	57	23,1	22	5	31,6	31	2	21,5	21	2
	54	26,5	27	-2	37	35	6	22,8	22	4
	51	23,6	22	7	39,4	31	27	21,5	21	2
	30	1,8	2,6	-31	2,8	6,3	-56	2,2	6,6	-67
	27	1,4	2,5	-44	2	5,8	-66	1,9	6,3	-70
	24	1,5	2,6	-42	2,5	6,3	-60	2,4	6,6	-64
	3	22,5	22	2	40,5	31	31	27,8	21	32
	0	26,7	27	-1	40,1	35	15	26,8	22	22
294	-3	22,8	22	4	35,7	31	15	25,4	21	21
	Em,pit	16,7	16,6	0	25,7	23,6	9	16,9	16,4	3
	E3min,pit/Em,pit	0,09	0,15	-39	0,09	0,26	-64	0,13	0,40	-68
	Em,kok	19,8	18,9	5						
	E3min,kok/Em,kok	0,08	0,14	-42						

Taulukko 35. Mt 11746, pylväsväli 294–295.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
295	52	24,1	24	0	37,5	33	14	22,1	21	5
	47	18	15	20	36,5	35	4	13,2	16	-18
	42	10,4	7	49	19,3	16	21	9,9	10	-1
	37	6,5	4	63	9,5	10	-5	6,5	9	-28
	32	3	3	0	4,4	7	-37	3,3	7	-53
	27	1,4	3	-53	2	6	-67	1,9	6	-68
	22	1,9	3	-37	3,6	7	-49	3,3	7	-53
	17	4,6	4	15	9,3	10	-7	7,3	9	-19
	12	8,1	7	16	20,6	16	29	13,6	10	36
	7	15	15	0	38,3	35	9	18	16	13
294	2	24,5	24	2	39,5	33	20	27,2	21	30
	Em,pit	10,7	9,9	8	20,0	18,9	6	11,5	12,0	-4
	E3min,pit/Em,pit	0,20	0,30	-35	0,17	0,35	-53	0,25	0,56	-56
	Em,kok	14,1	13,6	3						
	E3min,kok/Em,kok	0,12	0,22	-44						

6.2.3 Yksityistie Y4 Kilpilahdella, Uudenmaan ELY-keskus

Pylväät nro:	602–603
Pylväsväli <i>S</i> :	54 m
Ajoradan leveys <i>W_r</i> :	8,5 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	26.4.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön taivas, +1 °C
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,2 m. Valaisinvarren pituus 1,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,1 m. Valaisinpylväs 602 hieman vinossa. Valaisinpylväs 602 ylämäessä. Valaisinpylväs 603 alamäessä.

Tulokset on esitetty taulukoissa 36–38. Tuloksista nähdään, että tilanne on vastaavanlainen kuin aikaisemmissa tapauksissa, esimerkiksi pylväsvälillä 263–264.

Mitatut ja laskennalliset keskiarvot vastaavat toisiaan, mistä voidaan päätellä, että ajoradalle tulee oikea määrä valoa. InfraRYL:n mittauspisteverkolla mitattu kokonaiskeskiarvo on hieman suurempi kuin vastaava laskennallinen kokonaiskeskiarvo. Muilla mittauspisteverkoilla mitatut arvot vastaavat paremmin laskennallisia.

Kun tarkastellaan yksittäisiä arvoja, huomataan, että mittausalueen keskiosaan valaisinpylväiden puolelle ajorataa tulee laskennallista enemmän valoa ja valaisinpylväiden vastakkaiselle puolelle ajorataa tulee liian vähän valoa. Tämä vaikuttaa myös tasaisuusarvoihin. Nämä eivät ole yksittäisiä mittausvirheitä, sillä tulos esiintyy useissa mittauspisteissä kaikilla mittauspisteverkoilla.

Koska valaisin on sama kuin edellisissä tapauksissa, eikä selitystä löydetty valaistusteknillisen tarkastelun avulla yleisimmistä asennusvirheistä, on valaisimen valonjaossa todennäköisesti vikaa.

Taulukosta 37 voidaan tarkastella ylä- ja alamäen vaikutusta mittaustuloksiin. Esimerkiksi valaisimen 603 kohdalla ± 3 metrin etäisyyksillä mitatut valaistusvoimakkuudet ovat pääasiassa suuremmat ylämäessä. Poikkeukset johtuvat todennäköisesti yksittäisistä mittausvirheistä ja siitä, että valaisinpylväs 602 on hieman vinossa.

Taulukko 36. Y4 Kilpilahti, 602–603.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)																		
	0,71			2,13			3,54			4,96			6,37			7,79			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
603	52,5	27,7	27	3	34	31	10	31	35	-11	38,9	33	18	31,3	28	12	24,5	22	11
	49,5	22,1	20	11	31,2	27	16	42,5	34	25	43	34	26	32,7	29	13	20,8	21	-1
	46,5	14,8	15	-1	23,6	21	12	32	30	7	32,2	31	4	24,1	26	-7	15,3	17	-10
	43,5	10	9	11	13,9	14	-1	17	22	-23	16,6	23	-28	14,5	18	-19	10,7	13	-18
	40,5	7	6	17	10	9	11	11,6	13	-11	12,1	14	-14	11,4	13	-12	10,2	11	-7
	37,5	5,8	4	45	7,7	7	10	9	10	-10	9,5	12	-21	9	11	-18	8,5	10	-15
	34,5	4,5	3	50	5,7	6	-5	6,9	8	-14	7	9	-22	6,9	9	-23	6,5	8	-19
	31,5	3,5	3	17	4,6	5	-8	5	6	-17	5,4	7	-23	5,4	8	-33	5,1	7	-27
	28,5	3	3	0	3,8	4	-5	4,2	6	-30	4,5	6	-25	4,5	6	-25	4,2	6	-30
	25,5	3,5	3	17	4,4	4	10	4,8	6	-20	5,2	6	-13	5,2	6	-13	4,7	6	-22
	22,5	3,5	3	17	4,4	5	-12	4,8	6	-20	5,2	7	-26	5,2	8	-35	4,7	7	-33
	19,5	4,4	3	47	5,8	6	-3	7	8	-13	7,4	9	-18	7	9	-22	6,5	8	-19
	16,5	5,4	4	35	7,7	7	10	9,5	10	-5	9,9	12	-18	9,2	11	-16	8,5	10	-15
	13,5	7,9	6	32	11,2	9	24	13,9	13	7	13,5	14	-4	12,1	13	-7	9,5	11	-14
	10,5	11,9	9	32	17	14	21	22,8	22	4	22,5	23	-2	19	18	6	13,7	13	5
7,5	16,2	15	8	23,6	21	12	30,9	30	3	31	31	0	25,8	26	-1	17,2	17	1	
4,5	22,2	20	11	29,5	27	9	34	34	0	34,5	34	1	28,2	29	-3	20,8	21	-1	
602	1,5	27,9	27	3	34,2	31	10	38,3	35	9	38	33	15	33	28	18	25,1	22	14
Em,pit	11,2	10,0	12	15,1	13,8	10	18,1	18,2	-1	18,7	18,8	0	15,8	16,4	-4	12,0	12,8	-6	
E3min,pit/Em,pit	0,30	0,30	-1	0,28	0,31	-12	0,25	0,33	-23	0,27	0,34	-21	0,31	0,41	-22	0,38	0,50	-24	
Em,kok	15,2	15,0	1																
E3min,kok/Em,kok	0,22	0,20	10																

Taulukko 37. Y4 Kilpilahti, 602–603.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)		Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
603	57	23,5	22	7	37,5	31	21	24,4	20	22
	54	27,6	27	2	42,7	34	26	22,7	20	14
	51	24,4	22	11	42,3	31	36	18,5	20	-8
	30	2,9	2,5	16	4,7	6,3	-25	4,5	6,5	-31
	27	2,5	2,4	4	4,1	5,8	-29	4,3	6,2	-31
	24	2,9	2,5	16	4,7	6,3	-25	4,5	6,5	-31
	3	23	22	5	35,7	31	15	22,1	20	11
	0	25,6	27	-5	42,3	35	21	24,5	21	17
602	-3	22,1	22	0	38	31	23	21,7	20	9
Em,pit		17,2	16,6	3	28,0	23,5	19	16,4	15,6	5
E3min,pit/Em,pit		0,16	0,15	8	0,16	0,26	-38	0,27	0,41	-34
Em,kok		20,5	18,6	11						
E3min,kok/Em,kok		0,13	0,13	1						

Taulukko 38. Y4 Kilpilahti, 602–603.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
603	52	25,4	24	6	40,3	33	22	21,4	20	7
	47	15	14	7	36	35	3	12,2	14	-13
	42	7,2	7	3	15,7	16	-2	9	9	0
	37	4,7	4	18	9,2	10	-8	8	9	-11
	32	3,4	3	13	5,8	7	-17	5	7	-29
	27	2,5	2	25	4,1	6	-32	4,3	6	-28
	22	3,2	3	7	5,3	7	-24	5,4	7	-23
	17	5	4	25	9	10	-10	7,7	9	-14
	12	8,1	7	16	16,3	16	2	10	9	11
	7	15,7	14	12	34,7	35	-1	15,7	14	12
602	2	24,6	24	3	37,3	33	13	23,5	20	18
	Em,pit	10,4	9,6	8	19,4	18,9	3	11,1	11,3	-1
	E3min,pit/Em,pit	0,29	0,28	5	0,26	0,35	-26	0,44	0,59	-25
	Em,kok	13,7	13,3	3						
	E3min,kok/Em,kok	0,22	0,20	11						

6.2.4 Ilvestie, Helsinki

Pylväät nro:	105–106
Pylväsväli S :	30 m
Ajoradan leveys W_r :	Pylvään 105 kohdalla 5,6 m, pylvään 106 kohdalla 6 m. (Val.tekn. tarkastelu tehty $W_r = 6$ m.)
Valaisin:	Philips Iridium ² LED Medium BGB352 1xECO71 2S/740 DM (LEDien valovirta 7081 lm, valaisimen valovirta 5948 lm, valaisimen hyötysuhde 0,84)
Mittausajankohta:	8.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 8 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta 0 m. Valaisinvarren pituus 1 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta +1,5m. Valaisin 106 kääntynyt n. 10 astetta mittausalueesta poispäin. Valaisinpylväs 105 sijaitsee ylämäessä. Valaisinpylväs 106 sijaitsee alamäessä.

Tulokset on esitetty taulukoissa 39–41. Tuloksista nähdään, että mitatut kokonaiskeskiarvot poikkeavat laskennallisista kokonaiskeskiarvoista kaikilla mittauspisteverkoilla noin -10 %. Luvun 5.7.2 mukaan valovirranalenema laskee kokonaiskeskiarvoja tasaisesti. Tästä voidaan päätellä, että LED-valaisimen todellinen valovirta ei vastaa luvattua.

Taulukosta 40 voidaan havaita ala- ja ylämäen vaikutus mittautuloksiin. Valaisin 105 sijaitsee ylämäessä ja valaisin 106 alamäessä. ± 3 metrin etäisyyksillä mitatut valaistusvoimakkuudet ovat pääasiassa suuremmat ylämäen puolella.

Taulukoista 42–43 nähdään, että mitattujen ja laskennallisten kokonaiskeskiarvojen suhteelliset erot tasoittuvat, kun valovirtaa vähennetään kymmenen prosenttia. Joitain poikkeamia tuloksiin jää siltikin. Valaisinpylvään 105 kohdalla mitatut valaistusvoimakkuusarvot poikkeavat enemmän laskennallisista arvoista kuin valaisinpylvään 106 kohdalla. Koska mitatut arvot ovat pienemmät kuin laskennalliset, voi kyseessä olla jännitteenalenema. Valaisin 105 on valaistuksen rakennussuunnitelman mukaan kytketty vaiheelle 2 ja valaisin 106 vaiheelle 3, joten vaiheessa 2 mahdollisesti oleva vika voi laskea valaisimen 105 valovirtaa entisestään.

Aalto-yliopiston laboratoriomittauksissa tässä kohteessa käytössä olleen LED-valaisimen tuottamaksi valovirraksi todettiin 5358 lm. Valaistuslaskennassa käytetty valonjakotiedosto määrittelee valaisimien valovirraksi 5948 lm. Näiden lukujen suhteellinen ero on kymmenen prosenttia, joten laadunvarmistusmittauksilla saatu tulos pitää paikkansa.

Alkuperäisissä valaistusteknisissä laskennoissa on alenemakertoimena käytetty arvoa 0,8, kun kyseisille LED-valaisimille sen tulee olla 0,6–0,7. Tämän kohteen LED-valaisimia käytetään suuremmalla virralla, mikä mahdollistaa suuremman valovirran, mutta vähentää ledin elinikää ja vaikuttaa valaisimien alenemakertoimeen.

Taulukko 39. Ilvestie, 105–106.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)											
		0,75			2,25			3,75			5,25		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
105	1,5	23,9	26	-8	23,9	28	-15	20,2	25	-19	17,6	21	-16
	4,5	16,1	18	-11	17	22	-23	15,7	20	-22	13,9	18	-23
	7,5	9,3	11	-15	10,8	14	-23	10,8	14	-23	9,4	14	-33
	10,5	5,4	7	-23	6,9	9	-23	7,8	10	-22	8,1	10	-19
	13,5	3,6	5	-28	5,8	7	-17	6,5	8	-19	7,6	9	-16
	16,5	3,9	5	-22	6,4	7	-9	7,2	8	-10	7,8	9	-13
	19,5	5,5	7	-21	8,3	9	-8	8,8	10	-12	9,6	10	-4
	22,5	10,2	11	-7	13,5	14	-4	14,1	14	1	13,3	14	-5
106	25,5	18,8	18	4	20,8	22	-5	18,9	20	-6	17,2	18	-4
	28,5	24,7	26	-5	24,6	28	-12	21,7	25	-13	18,8	21	-10
Em,pit		12,1	13,4	-9	13,8	16,0	-14	13,2	15,4	-14	12,3	14,4	-14
E3min,pit/Em,pit		0,35	0,42	-16	0,46	0,48	-4	0,54	0,56	-3	0,64	0,65	-2
Em,kok		12,9	14,8	-13									
E3min,kok/Em,kok		0,33	0,38	-13									

Taulukko 40. Ilvestie, 105–106.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
105	-3	20,4	18	13	21,8	25	-13	15,7	18	-13
	0	23,4	21	11	24,1	28	-14	17,2	20	-14
	3	18,1	18	1	20	25	-20	12,4	18	-31
	7,5	8	9	-11	11	14	-21	8	13	-38
	12	3,7	4,2	-12	7	8,6	-19	8,5	9,8	-13
	15	2,5	3,5	-29	5,7	7,7	-26	5,8	9,2	-37
	18	3,2	4,2	-24	7,6	8,6	-12	8,5	9,8	-13
	22,5	8,2	9	-9	14,2	14	1	12,9	13	-1
106	27	19,5	18	8	22	25	-12	17,7	18	-2
	30	23	21	10	22,6	28	-19	17,4	20	-13
	33	19	18	6	19	25	-24	16,7	18	-7
Em,pit		13,5	13,1	4	15,9	19,0	-16	12,8	15,2	-16
E3min,pit/Em,pit		0,23	0,30	-24	0,43	0,44	-3	0,58	0,63	-8
Em,kok		14,1	15,7	-11						
E3min,kok/Em,kok		0,22	0,25	-12						

Taulukko 41. Ilvestie, 105–106.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
105	0	23,4	21	11	24,1	28	-14	17,2	20	-14
	5	13,3	13	2	15,8	20	-21	12,7	16	-21
	10	4,7	5	-6	7,8	10	-22	8,5	11	-23
	15	2,5	4	-38	5,7	8	-29	5,8	9	-36
	20	4,1	5	-18	9,5	10	-5	10,5	11	-5
	25	14,3	13	10	18,1	20	-9	16,4	16	2
106	30	23	21	10	22,6	28	-19	17,4	20	-13
	Em,pit	12,2	11,7	4	14,8	17,7	-16	12,6	14,7	-14
	E3min,pit/Em,pit	0,31	0,40	-22	0,52	0,53	-2	0,65	0,70	-7
	Em,kok	13,2	14,7	-10						
	E3min,kok/Em,kok	0,29	0,32	-10						

Taulukko 42. Ilvestie, 105–106.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.
Valovirta -10 % = 6373 lm.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)											
		0,75			2,25			3,75			5,25		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
105	1,5	23,9	23	4	23,9	26	-8	20,2	23	-12	17,6	19	-7
	4,5	16,1	17	-5	17	19	-11	15,7	18	-13	13,9	16	-13
	7,5	9,3	10	-7	10,8	13	-17	10,8	13	-17	9,4	12	-22
	10,5	5,4	6	-10	6,9	8	-14	7,8	9	-13	8,1	9	-10
	13,5	3,6	5	-28	5,8	7	-17	6,5	8	-19	7,6	8	-5
	16,5	3,9	5	-22	6,4	7	-9	7,2	8	-10	7,8	8	-3
	19,5	5,5	6	-8	8,3	8	4	8,8	9	-2	9,6	9	7
	22,5	10,2	10	2	13,5	13	4	14,1	13	8	13,3	12	11
	25,5	18,8	17	11	20,8	19	9	18,9	18	5	17,2	16	8
106	28,5	24,7	23	7	24,6	26	-5	21,7	23	-6	18,8	19	-1
	Em,pit	12,1	12,2	0	13,8	14,6	-5	13,2	14,2	-7	12,3	12,8	-4
	E3min,pit/Em,pit	0,35	0,44	-19	0,46	0,50	-8	0,54	0,59	-7	0,64	0,65	-2
	Em,kok	12,9	13,5	-4									
	E3min,kok/Em,kok	0,33	0,40	-16									

Taulukko 43. Ilvestie, 105–106.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.
Valovirta -10 % = 6373 lm.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
105	0	23,4	19	23	24,1	26	-7	17,2	18	-4
	5	13,3	12	11	15,8	18	-12	12,7	14	-9
	10	4,7	5	-6	7,8	9	-13	8,5	10	-15
	15	2,5	3	-17	5,7	7	-19	5,8	8	-28
	20	4,1	5	-18	9,5	9	6	10,5	10	5
	25	14,3	12	19	18,1	18	1	16,4	14	17
106	30	23	19	21	22,6	26	-13	17,4	18	-3
	Em,pit	12,2	10,7	14	14,8	16,1	-8	12,6	13,1	-4
	E3min,pit/Em,pit	0,31	0,40	-24	0,52	0,52	0	0,65	0,71	-8
	Em,kok	13,2	13,3	-1						
	E3min,kok/Em,kok	0,29	0,33	-12						

6.2.5 Näätätie, Helsinki

Pylväät nro:	201–202
Pylväsväli S :	30 m
Ajoradan leveys W_r :	Pylvään 201 kohdalla 5,9 m, pylvään 202 kohdalla 5,5 m. (Val.tekn. tarkastelu tehty $W_r = 6$ m.)
Valaisin:	Philips Iridium ² LED Medium BGB352 1xECO71 2S/740 DM (LEDien valovirta 7081 lm, valaisimen valovirta 5948 lm, valaisimen hyötysuhde 0,84)
Mittausajankohta:	8.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 8 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivaan 0 m. Valaisinvarren pituus 1 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta +1,5 m. Valaisin 201 kääntynyt hieman mittausalueesta pois päin. Valaisin 202 kääntynyt mittausaluetta kohti. Valaisinpylväs 201 sijaitsee alamäessä. Valaisinpylväs 202 sijaitsee ylämäessä. Kasvillisuus varjostaa hieman katua (merkitty taulukoihin punaisella).

Tulokset on esitetty taulukoissa 44–46.

Näätätieellä on käytetty samoja valaisimia kuin Ilvestieellä, joten tilanne on samanlainen kuin Ilvestieellä. Tuloksista nähdään, että kaikilla mittauspisteverkoilla mitatut keskiarvot ovat merkittävästi laskennallisia keskiarvoja pienempiä.

Taulukosta 45 voidaan vielä havaita ala- ja ylämäen vaikutus mittautuloksiin. Valaisin 201 sijaitsee ylämäessä ja valaisin 202 alamäessä. ± 3 metrin etäisyydeltä valaisimista mitatut valaistusvoimakkuudet ovat pääasiassa suuremmat ylämäen puolella.

Erot mitattujen ja laskennallisten arvojen välillä kaventuvat, kun valaisimien valovirta asetetaan kymmenen prosenttia pienemmäksi (taulukot 47–48), mutta erityisesti valaisinpylvään 202 kohdalla mitatut arvot jäävät edelleen laskennallisia pienemmiksi. Koska mitatut arvot ovat pienemmät kuin laskennalliset, voi kyseessä olla jännitteenalenema. Valaisin 202 on valaistuksen rakennussuunnitelman mukaan kytketty vaiheelle 2 ja valaisin 201 vaiheelle 1, joten vaiheessa 2 mahdollisesti oleva vika voi laskea valaisimen 202 valovirtaa entisestään. Myös Ilvestien valaisinpylväs 105, jonka kohdalla havaittiin valaisinpylvään 202 kaltainen ilmiö, on suunnitelmien mukaan kytketty vaiheelle 2, joten vaiheessa 2 on todennäköisesti vikaa. Valaisinpylväillä 105 ja 202 tulee suorittaa jännitemittaus tarkempien johtopäätösten tekemiseksi.

Taulukko 44. Näätätie, 201–202.

Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.
Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)											
		0,75			2,25			3,75			5,25		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
202	1,5	21,6	26	-17	22	28	-21	19	25	-24	16,7	21	-20
	4,5				15,9	22	-28	14,1	20	-30	12,7	18	-29
	7,5				10,4	14	-26	10	14	-29	9,5	14	-32
	10,5							8	10	-20	8,3	10	-17
	13,5							7	8	-13	7,4	9	-18
	16,5				6	7	-14	7,5	8	-6	7,7	9	-14
	19,5	5,5	7	-21	8,1	9	-10	9,1	10	-9	9,2	10	-8
	22,5	9,1	11	-17	12	14	-14	12,7	14	-9	11,8	14	-16
	25,5	16	18	-11	18	22	-18	16,6	20	-17	15,3	18	-15
201	28,5	22,5	26	-13	24,3	28	-13	21,4	25	-14	17,8	21	-15
	Em,pit	14,9	17,6	-15	14,6	18,0	-19	12,5	15,4	-19	11,6	14,4	-19
	E3min,pit/Em,pit	0,68	0,68	0	0,56	0,56	1	0,60	0,56	6	0,67	0,65	3
	Em,kok	13,1	16,1	-18									
	E3min,kok/Em,kok	0,47	0,46	3									

Taulukko 45. Näätätie, 201–202.

Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.
Punaisella taustalla merkityt arvoja ei ole huomioitu keskiarvoissa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
202	-3	18,5	18	3	20,2	25	-19	15,2	18	-16
	0	21,1	21	0	22,6	28	-19	16,8	20	-16
	3				18,7	25	-25	13,9	18	-23
	7,5				10,3	14	-26	9,6	13	-26
	12				7	8,6	-19	8	9,8	-18
	15				6,1	7,7	-21	7,9	9,2	-14
	18				7,4	8,6	-14	9,3	9,8	-5
	22,5	6,8	9	-24	12,8	14	-9	12,3	13	-5
	27	17,2	18	-4	21,2	25	-15	17	18	-6
201	30	22,2	21	6	24	28	-14	17,7	20	-12
	33	16	18	-11	20	25	-20	16	18	-11
	Em,pit	17,0	17,5	-3	15,5	19,0	-18	13,1	15,2	-14
	E3min,pit/Em,pit	0,79	0,86	-8	0,44	0,44	1	0,64	0,63	2
	Em,kok	14,9	17,2	-14						
	E3min,kok/Em,kok	0,45	0,48	-8						

Taulukko 46. Näätätie, 201–202.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.
Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
202	0	21,1	21	0	22,6	28	-19	16,8	20	-16
	5				14,5	20	-28	11,7	16	-27
	10				8,2	10	-18	8,3	11	-25
	15				6,1	8	-24	7,9	9	-12
	20	4,1	5	-18	8,9	10	-11	9,7	11	-12
	25	11,8	13	-9	17,7	20	-12	14,3	16	-11
201	30	22,2	21	6	24	28	-14	17,7	20	-12
	Em,pit	14,8	15,0	-1	14,6	17,7	-18	12,3	14,7	-16
	E3min,pit/Em,pit	0,83	0,87	-4	0,53	0,53	1	0,70	0,70	0
	Em,kok	13,8	15,9	-14						
	E3min,kok/Em,kok	0,44	0,46	-5						

Taulukko 47. Näätätie, 201–202.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.
Valovirta -10 % = 6373 lm.
Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)											
		0,75			2,25			3,75			5,25		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
202	1,5	21,6	23	-6	22	26	-15	19	23	-17	16,7	19	-12
	4,5				15,9	19	-16	14,1	18	-22	12,7	16	-21
	7,5				10,4	13	-20	10	13	-23	9,5	12	-21
	10,5							8	9	-11	8,3	9	-8
	13,5							7	8	-13	7,4	8	-8
	16,5				6	7	-14	7,5	8	-6	7,7	8	-4
	19,5	5,5	6	-8	8,1	8	1	9,1	9	1	9,2	9	2
	22,5	9,1	10	-9	12	13	-8	12,7	13	-2	11,8	12	-2
	25,5	16	17	-6	18	19	-5	16,6	18	-8	15,3	16	-4
	28,5	22,5	23	-2	24,3	26	-7	21,4	23	-7	17,8	19	-6
201	Em,pit	14,9	15,8	-5	14,6	16,4	-11	12,5	14,2	-12	11,6	12,8	-9
	E3min,pit/Em,pit	0,68	0,70	-2	0,56	0,57	-2	0,60	0,59	2	0,67	0,65	3
	Em,kok	13,1	14,5	-10									
	E3min,kok/Em,kok	0,47	0,48	-2									

Taulukko 48. Näätätie, 201–202.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.
Valovirta -10 % = 6373 lm.
Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
202	0	21,1	19	11	22,6	26	-13	16,8	18	-7
	5				14,5	18	-19	11,7	14	-16
	10				8,2	9	-9	8,3	10	-17
	15				6,1	7	-13	7,9	8	-1
	20	4,1	5	-18	8,9	9	-1	9,7	10	-3
	25	11,8	12	-2	17,7	18	-2	14,3	14	2
201	30	22,2	19	17	24	26	-8	17,7	18	-2
	Em,pit	14,8	13,8	8	14,6	16,1	-10	12,3	13,1	-6
	E3min,pit/Em,pit	0,83	0,87	-5	0,53	0,52	3	0,70	0,71	-2
	Em,kok	13,8	14,4	-5						
	E3min,kok/Em,kok	0,44	0,46	-5						

6.2.6 Yliskylänkaari, Helsinki

Pylväät nro:	201–202
Pylväsväli S :	32 m
Ajoradan leveys W_r :	Pylvään 201 kohdalla 6 m, pylvään 202 kohdalla 6,1 m. (Val.tekn. tarkastelu tehty $W_r = 6$ m.)
Valaisin:	Philips Koffer SGP100 FG OR P4, ST-100 (10700 lm)
Mittausajankohta:	8.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 8 m, kallistuskulma 5° . Valaisinpylvään 201 etäisyys ajoradan reunaviivasta -3,1 m. Valaisinpylvään 202 etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,9 m. Molemmat valaisinpylväät jalkakäytävän takana. Valaisinvarren pituus 1 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta keskimäärin -1,5 m. (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin -3 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta). Valaisin 202 kääntynyt mittausaluetta kohti ja valaisinpylväs kallellaan mittausalueesta poispäin. Valaistuksen rakennussuunnitelmassa suurpainenatriumvalaistus, todellisuudessa monimetallivalaistus.

Tulokset on esitetty taulukoissa 49–51.

Tuloksista nähdään, että mitatut kokonaiskeskiarvot poikkeavat laskennallisista keskiarvoista kaikilla mittauspisteverkoilla noin -20 %. Myös mitatut pitkittäis-suuntaiset keskiarvot poikkeavat laskennallisista arvoista tasaisesti noin -20 %.

Kun valovirta asetetaan 20 % pienemmäksi, vastaavat mitatut ja laskennalliset arvot erittäin hyvin toisiaan (taulukot 52–53).

Valaistuksen rakennussuunnitelman alkuperäinen valaistusteknillinen laskenta oli tehty käyttäen 100 watin (10700 lm) suurpainenatriumlamppuja. Todellisuudessa mittauskohteen valaisimiin oli asennettu monimetallilamput.

Tulosten perusteella mittauskohteessa käytössä olevien lamppujen valovirta on noin 8500 lm ($0,8 \times 10700 \text{ lm} \approx 8500 \text{ lm}$). Yleisimpien lamppuluetteloiden [18; 24] mukaan 100 watin monimetallilampan tuottama valovirta on noin 10000 lm. Mittauskohteessa käytetty lampputyyppi tulee selvittää tarkempien johtopäätösten tekemiseksi. Jos käytössä on monimetallilamput, joiden pitäisi tuottaa 10000 lm, on niiden valovirrantuotto heikentynyt merkittävästi.

Alueella ei ole käytössä valaistuksen ohjausta (himmennystä), joten se ei ole syy alhaisempaan valaistustasoon.

Taulukko 49. Yliskylänkaari, 201–202.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)												
	0,75			2,25			3,75			5,25			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
1,45	13,7	16	-14	21	24	-13	27,6	32	-14	32,3	38	-15	201
4,36	10,8	15	-28	18,6	22	-15	22,5	26	-13	24,2	27	-10	
7,27	8,3	12	-31	13,3	19	-30	18,3	22	-17	19,3	21	-8	
10,18	6,9	10	-31	10,4	13	-20	13,3	15	-11	13,7	15	-9	
13,09	6,6	9	-27	8,9	11	-19	10,4	12	-13	9,4	11	-15	
16	6	8	-25	8,1	10	-19	9,1	11	-17	8,4	11	-24	
18,91	6,5	9	-28	8,6	11	-22	9,5	12	-21	9	11	-18	
21,82	7,3	10	-27	10	13	-23	11,6	15	-23	8,4	15	-44	
24,73	9,4	12	-22	14,6	19	-23	16,3	22	-26	15,3	21	-27	202
27,64	12	15	-20	18,3	22	-17	20,4	26	-22	22,6	27	-16	
30,55	12,5	16	-22	18,4	24	-23	25,5	32	-20	30,1	38	-21	
Em,pit	9,1	12,0	-24	13,7	17,1	-20	16,8	20,5	-18	17,5	21,4	-18	
E3min,pit/Em,pit	0,70	0,72	-3	0,62	0,62	0	0,58	0,57	1	0,49	0,51	-5	
Em,kok	14,3	17,7	-20										
E3min,kok/Em,kok	0.45	0.49	-9										

Taulukko 50. Yliskylänkaari, 201–202.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-3	12,5	12	4	26,3	27	-3	27	33	-18	201
0	11,3	12	-6	23,5	27	-13	33,4	39	-14	
3	9,8	12	-18	24,4	27	-10	29,2	33	-12	
8	6,8	9	-24	15,1	19	-21	16,6	18	-8	
13	5,2	7,3	-29	10	11,9	-16	9	10,8	-17	
16	6	6,9	-13	8,9	10,8	-18	7,9	9,9	-20	
19	5,7	7,3	-22	9,3	11,9	-22	8,5	10,8	-21	
24	7,3	9	-19	14,6	19	-23	13,1	18	-27	
29	10,3	12	-14	22,9	27	-15	26,9	33	-18	
32	9,8	12	-18	21	27	-22	30,6	39	-22	202
35	10,4	12	-13	23,3	27	-14	28,3	33	-14	
Em,pit	8,6	10,1	-15	18,1	21,3	-15	21,0	25,2	-17	
E3min,pit/Em,pit	0,65	0,71	-8	0,52	0,54	-4	0,40	0,42	-3	
Em,kok	15,9	18,9	-16							
E3min,kok/Em,kok	0,35	0,38	-7							

Taulukko 51. Yliskylänkaari, 201–202.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
1	10,9	13	-16	22,2	28	-21	33,5	39	-14	201
6	8,5	11	-23	18,3	23	-20	20,8	22	-5	
11	5,3	8	-34	11,3	14	-19	11,4	13	-12	
16	6	7	-14	8,9	11	-19	7,9	10	-21	
21	6,1	8	-24	10	14	-29	8	13	-38	
26	8,4	11	-24	16,8	23	-27	17	22	-23	
31	10	13	-23	21,3	28	-24	30,8	39	-21	202
Em,pit	7,9	10,1	-22	15,5	20,1	-23	18,5	22,6	-18	
E3min,pit/Em,pit	0,74	0,76	-3	0,65	0,65	0	0,49	0,53	-7	
Em,kok	14,0	17,6	-21							
E3min,kok/Em,kok	0,42	0,44	-5							

Taulukko 52. Yliskylänkaari, 201–202. Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko. Valovirta 8500 lm (n. -20 %).

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)												
	0,75			2,25			3,75			5,25			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
1,45	13,7	13	5	21	19	11	27,6	26	6	32,3	30	8	201
4,36	10,8	12	-10	18,6	17	9	22,5	21	7	24,2	22	10	
7,27	8,3	10	-17	13,3	15	-11	18,3	18	2	19,3	17	14	
10,18	6,9	8	-14	10,4	11	-5	13,3	12	11	13,7	12	14	
13,09	6,6	7	-6	8,9	9	-1	10,4	10	4	9,4	9	4	
16	6	7	-14	8,1	8	1	9,1	9	1	8,4	8	5	
18,91	6,5	7	-7	8,6	9	-4	9,5	10	-5	9	9	0	
21,82	7,3	8	-9	10	11	-9	11,6	12	-3	8,4	12	-30	
24,73	9,4	10	-6	14,6	15	-3	16,3	18	-9	15,3	17	-10	
27,64	12	12	0	18,3	17	8	20,4	21	-3	22,6	22	3	202
30,55	12,5	13	-4	18,4	19	-3	25,5	26	-2	30,1	30	0	
Em,pit	9,1	9,7	-7	13,7	13,6	0	16,8	16,6	1	17,5	17,1	3	
E3min,pit/Em,pit	0,70	0,72	-3	0,62	0,64	-2	0,58	0,58	-1	0,49	0,51	-3	
Em,kok	14,3	14,3	0										
E3min,kok/Em,kok	0,45	0,49	-9										

Taulukko 53. Yliskylänkaari, 201–202. Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko. Valovirta 8500 lm (n. -20 %).

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
1	10,9	10	9	22,2	22	1	33,5	31	8	201
6	8,5	8	6	18,3	18	2	20,8	18	16	
11	5,3	6	-12	11,3	11	3	11,4	10	14	
16	6	5	20	8,9	9	-1	7,9	8	-1	
21	6,1	6	2	10	11	-9	8	10	-20	
26	8,4	8	5	16,8	18	-7	17	18	-6	202
31	10	10	0	21,3	22	-3	30,8	31	-1	
Em,pit	7,9	7,6	4	15,5	15,9	-2	18,5	18,0	3	
E3min,pit/Em,pit	0,74	0,75	-2	0,65	0,65	-1	0,49	0,52	-5	
Em,kok	14,0	13,8	1							
E3min,kok/Em,kok	0,42	0,41	1							

6.2.7 Umpiaidanpolku, Helsinki

Pylväät nro:	504–505
Pylväsväli S :	32 m
Ajoradan leveys W_r :	3 m
Valaisin:	Philips Koffer SGP070 FG OR P4, ST-70 (6300 lm)
Mittausajankohta:	8.5.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön
Muut havainnot:	Valaistusluokka K3. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 6 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,6 m. Varreton. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,1 m. Valaisinpylväs 505 hieman kallellaan mittausalueesta poispäin. Valaistuksen rakennussuunnitelmassa suurpainenatriumvalaistus, todellisuudessa monimetallivalaistus. Kasvillisuus varjostaa hieman kävelykatua (merkitty taulukoihin punaisella).

Tulokset on esitetty taulukoissa 54–56.

Valaistuksen rakennussuunnitelman alkuperäinen valaistusteknillinen laskenta oli tehty käyttäen 70 watin (6300 lm) suurpainenatriumlamppuja. Todellisuudessa mittaukohteen valaisimiin oli asennettu monimetallilamput.

Tuloksista nähdään, että mitatut arvot ovat laskennallisia arvoja suuremmat. Mitatut kokonaiskeskiarvot ovat keskimäärin 6 % suuremmat kuin laskennalliset kokonaiskeskiarvot. Monimetallilamppujen valovirta on siis suurin piirtein luokkaa 6700 lm. Yleisimmät lamppuluettelot [18, 24] lupaavat 70W monimetallilampuille valovirraksi noin 7200–7500 lm. Mittauskohteessa käytetty lampputyyppi tulee selvittää tarkempien johtopäätösten tekemiseksi. Todennäköisesti käytössä on 70W monimetallilamppu, jonka valovirta on laskenut.

Alueella ei ole käytössä valaistuksen ohjausta (himmennystä), joten se ei ole syy alhaisempaan valaistustasoon.

Mittausalueen keskellä valaisinpylväiden vastakkaisella puolella ajorataa mitatut arvot ovat hieman laskennallisia pienemmät. Se johtuu siitä, että mittausalue on hieman kupera (mittausalueen keskiosa sijaitsee korkeamman kuin alku- ja loppuosan), jolloin valonsäteet eivät ylety aivan mittausalueen keskelle asti.

Taulukko 54. Umpiaidanpolku 504–505.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.
Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)								
		0,5			1,5			2,5		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
504	1,45	28,8	28	3	33,7	32	5	30,2	29	4
	4,36	18,6	16	16	20,9	19	10	21,9	20	9
	7,27	10,6	9	18	13	11	18	14,4	13	11
	10,18	5,3	5	6	6,6	7	-6	7,5	8	-6
	13,09							5,1	6	-15
	16							4	5	-20
	18,91				4	5	-20	4,6	6	-23
	21,82							7,3	8	-9
505	24,73	9,7	9	8	12,1	11	10	13,4	13	3
	27,64	19,7	16	23	21,8	19	15	23	20	15
	30,55	34,2	28	22	36,5	32	14	33,6	29	16
	Em,pit	18,1	15,9	14	18,6	17,0	9	15,0	14,3	5
	E3min,pit/Em,pit	0,47	0,48	-3	0,41	0,45	-10	0,30	0,40	-23
	Em,kok	16,9	15,5	9						
	E3min,kok/Em,kok	0,25	0,32	-23						

Taulukko 55. Umpiaidanpolku 504–505.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.
Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
504	-3	16,4	20	-18	21,7	24	-10	20,5	23	-11
	0	21,9	25	-12	31,2	33	-5	29	28	4
	3	21	20	5	23,8	24	-1	23,2	23	1
	8	7	7	0	10,7	10	7	12,4	11	13
	13							5,8	6,1	-5
	16							4,3	5,6	-23
	19				4	5	-20	4,3	6,1	-30
	24				10,4	10	4	12,7	11	15
505	29	24,9	20	25	27,5	24	15	24,7	23	7
	32	27,6	25	10	35,8	33	8	32,3	28	15
	35	23,4	20	17	26	24	8	25	23	9
	Em,pit	20,3	19,6	4	21,2	20,8	2	17,7	17,1	3
	E3min,pit/Em,pit	0,73	0,80	-9	0,39	0,40	-2	0,27	0,35	-22
	Em,kok	19,5	19,0	3						
	E3min,kok/Em,kok	0,21	0,29	-27						

Taulukko 56. Umpiaidanpolku 504–505.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.
Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
504	1	25,3	25	1	31,8	33	-4	27,2	27	1
	6	11,8	11	7	17,2	15	15	19,2	17	13
	11				6,6	6	10	7,6	7	9
	16							4,3	6	-28
	21							6,9	7	-1
	26	12	11	9	16,5	15	10	18,9	17	11
505	31	28,8	25	15	36	33	9	29,8	27	10
	Em,pit	19,5	18,0	8	21,6	20,4	6	16,3	15,4	5
	E3min,pit/Em,pit	0,84	0,87	-3	0,62	0,59	6	0,39	0,43	-11
	Em,kok	18,7	17,6	6						
	E3min,kok/Em,kok	0,32	0,36	-12						

6.2.8 Kaislatie, Vantaa

Pylväät nro:	107–108
Pylväsväli S :	26,5 m
Ajoradan leveys W_r :	4,5 m
Valaisin:	iGuzzini Archilede BF39 39x1W 4000K (2894 lm)
Mittausajankohta:	22.4.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL5. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 6 m, kallistuskulma 0 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,7 m. Varreton. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,2 m. Valaisinpylväs 107 kallistunut n. 2 ° ajoradasta poispäin. Valaisin 108 kääntynyt n. 1 ° mittausalueesta poispäin.

Tulokset on esitetty taulukoissa 57–59.

Tuloksista nähdään, että kaikkien mittauspisteverkkojen kokonaiskeskiarvot poikkeavat laskennallisista kokonaiskeskiarvoista noin -10 %. Kun valovirta asetetaan 10 % pienemmäksi, vastaavat mitatut ja laskennalliset arvot paremmin toisiaan (taulukko 60). Mitattujen ja laskennallisten arvojen välille jää edelleen joitain eroja, mutta valaistusteknilliset tarkastelujen perusteella syytä ei löydetty yleisimmistä asennusvirheistä.

Vaikka valaisimien suuntaukseen liittyviä asennusvirheitä ei silmämääräisesti juurikaan havaittu, voidaan taulukosta 58 nähdä, että mitatut arvot vaihtelevat melko paljon ± 5 metrin etäisyyksillä. Erot voivat osaksi johtua yksittäisistä mittausvirheistä.

Valaistuksen rakennussuunnitelman alkuperäinen valaistusteknillinen laskenta oli tehty käyttäen valonjakoa BD99, mutta tyyppipoikkileikkaukseen oli merkitty käytettäväksi valonjaoksi BF39. Tässä työssä oletettiin, että mittauskohteen valonjako oli todellisuudessa BF39, sillä kyseisellä valonjaolla mitatut ja laskennalliset arvot vastaavat toisiaan paremmin. Valaisimien todellinen valonjako tulee selvittää.

Alkuperäinen valaistusteknillinen laskenta oli tehty alenemakertoimella 0,9, joka on liian korkea LED-valaisimille. Lisäksi alkuperäisessä valaistusteknillisessä laskennassa valaistusteknilliset vaatimukset eivät täyttyneet SR -arvon kohdalla. Uusi valaistusteknillinen tarkastelu valonjaolla BF39 osoittaa, että pylväsvälillä $S = 27$ m ja alenemakertoimella 0,65 valaistusteknilliset vaatimukset täyttyvät SR -arvoa lukuunottamatta.

Taulukko 57. Kaislatie, 107–108.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)								
		0,75			2,25			3,75		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
107	1,32	30	33	-9	22	29	-24	26	21	24
	3,97	20	19	5	15	20	-25	16	18	-11
	6,62	10	11	-9	11	13	-15	10	13	-23
	9,27	6	6	0	10	11	-9	8	11	-27
	11,92	6	6	0	9	10	-10	10	12	-17
	14,58	6	6	0	8	10	-20	10	12	-17
	17,23	6	6	0	10	11	-9	10	11	-9
	19,88	11	11	0	11	13	-15	12	13	-8
	22,53	18	19	-5	16	20	-20	17	18	-6
108	25,18	29	33	-12	22	29	-24	23	21	10
Em,pit		14,2	15,0	-5	13,4	16,6	-19	14,2	15,0	-5
E3min,pit/Em,pit		0,42	0,40	6	0,67	0,62	8	0,66	0,76	-13
Em,kok		13,9	15,5	-10						
E3min,kok/Em,kok		0,43	0,39	11						

Taulukko 58. Kaislatie, 107–108.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
107	-5	16	11	45	15	15	0	12	15	-20
	0	35	27	30	21	31	-32	16	20	-20
	5	13	11	18	12	15	-20	10	15	-33
	11,92	4	3,5	14	9	10,1	-11	8	10,7	-25
	13,25	4	3,6	11	8	10,3	-22	8	11,3	-29
	14,58	4	3,5	14	8	10,1	-21	10	10,7	-7
	21,5	12	11	9	13	15	-13	15	15	0
108	26,5	31	27	15	21	31	-32	17	20	-15
	31,5	16	11	45	14	15	-7	10	15	-33
Em,pit		15,0	12,1	24	13,4	16,9	-21	11,8	14,7	-20
E3min,pit/Em,pit		0,27	0,29	-9	0,62	0,60	3	0,74	0,74	0
Em,kok		13,4	14,6	-8						
E3min,kok/Em,kok		0,30	0,24	23						

Taulukko 59. Kaislatie, 107–108.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
107	3,25	19	15	27	19	23	-17	13	21	-38
	8,25	6	5	20	10	12	-17	6	10	-40
	13,25	4	4	0	8	10	-20	8	11	-27
	18,25	5	5	0	12	12	0	9	10	-10
108	23,25	16	15	7	19	23	-17	17	21	-19
Em,pit		10,0	8,8	14	13,6	16,0	-15	10,6	14,6	-27
E3min,pit/Em,pit		0,50	0,53	-6	0,74	0,71	4	0,72	0,71	2
Em,kok		11,4	13,1	-13						
E3min,kok/Em,kok		0,44	0,36	23						

Taulukko 60. Kaislatie, 107–108.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.
Valovirta -10% (2604 lm).

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)								
		0,75			2,25			3,75		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
107	1,32	30	30	0	22	26	-15	26	19	37
	3,97	20	17	18	15	18	-17	16	16	0
	6,62	10	10	0	11	12	-8	10	12	-17
	9,27	6	5	20	10	10	0	8	10	-20
	11,92	6	5	20	9	9	0	10	11	-9
	14,58	6	5	20	8	9	-11	10	11	-9
	17,23	6	5	20	10	10	0	10	10	0
	19,88	11	10	10	11	12	-8	12	12	0
	22,53	18	17	6	16	18	-11	17	16	6
108	25,18	29	30	-3	22	26	-15	23	19	21
Em,pit		14,2	13,4	6	13,4	15,0	-11	14,2	13,6	4
E3min,pit/Em,pit		0,42	0,37	13	0,67	0,62	8	0,66	0,76	-13
Em,kok		13,9	14,0	0						
E3min,kok/Em,kok		0,43	0,36	21						

6.2.9 Kimalaisentie, Vantaa

Pylväät nro:	109–110
Pylväsväli S :	27 m
Ajoradan leveys W_r :	6,5 m
Valaisin:	Philips Manta 621HGV TP P30, ST-100 (10700 lm)
Mittausajankohta:	22.4.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4a. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 8 m, kallistuskulma 2 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,7 m. Valaisinvarren pituus 0,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta +0,3 m. Valaisin 109 kääntynyt mittausaluetta kohti n. 5 ° ja kiertynyt mittausalueesta pois päin. Valaisin 110 kääntynyt mittausaluetta kohti. Valaisinpylväs kallistunut mittausalueesta pois päin. Kohteessa valaistuksen ohjaus (himmennys).

Tulokset on esitetty taulukoissa 61–63.

Tuloksista nähdään, että mitatut kokonaiskeskiarvot poikkeavat laskennallisista kokonaiskeskiarvoista noin -50 %. Tämän perusteella voidaan todeta, että valaisimien valovirta on alentunut merkittävästi.

Mittauskohteen valaisimissa on kaksitehokuristimet, joiden avulla valaisimen tehoa voidaan pudottaa kolmasosaan nimellisestä. Mittauskohteen valaisimissa tehoportaat ovat 100 W ja 70 W. Valaisimiin on siis asennettu 100 W:n lamput, mutta niitä voidaan himmentää siten, että tehonkulutus vastaa 70 W:n lamppua. Himmentämisen huono puoli on, että tehon laskiessa 30 %, valovirta laskee noin 50 % tai jopa enemmän.

Mittaustuloksista voidaan päätellä, että valaisimet oli kytketty alempaan tehoportaaseen, sillä valovirta on noin 50 % nimellistä pienempi.

Myös pitkittäissuuntaiset keskiarvot poikkeavat merkittävästi laskennallisista arvoista. Valaisinpylväiden vastakkaisella puolella ajorataa mitatut pitkittäissuuntaiset keskiarvot poikkeavat laskennallisista noin -70 %, kun taas valaisinpylväiden puolella poikkeamat ovat paljon pienempiä. Tulokset eroavat hieman eri mittauspisteverkkojen kesken. Pitkittäissuuntaisista keskiarvoista voidaan päätellä, ettei valaisimien valonjako ole alkuperäisen valaistuksen rakennussuunnitelman mukainen. Valaistusteknillinen tarkastelu valonjaolla P10 (taulukko 64) osoittaa, että kyseisellä valonjaolla laskennalliset arvot vastaavat paremmin mitattuja arvoja. Tästä voidaan päätellä, että mittauskohteeseen asennettujen valaisimien valonjako poikkeaa todennäköisesti alkuperäisestä valaistuksen rakennussuunnitelmasta. Valaisimien valonjako tulee tarkistaa.

Valoa näyttää edelleen tulevan hieman enemmän valaisinpylväiden puolelle ajorataa, koska sillä puolella ajorataa mitattu pitkittäissuuntaainen keskiarvo poikkeaa laskennallisesta vähemmän (taulukko 64). Ilmiö on samantyyppinen kuin luvuissa 6.2.1

ja 6.2.2, joissa ilmiön todettiin johtuvan todennäköisesti valaisimen valonjaon virheellisyydestä.

Lopullisten johtopäätösten tekemiseksi mittaukset tulee suorittaa nimellisteholla.

Taulukosta 62 voidaan havaita mahdollinen yksittäinen mittausrvirheitä, sillä ± 5 metrin etäisyydellä mitatut arvot eroavat melko paljon toisistaan (punaisella ympyröidyt arvot). Muissa vastaavissa mittauspisteissä ei ole näin suuria eroja.

Alkuperäinen valaistusteknillinen laskenta oli tehty käyttäen 5 asteen kallistuskulmaa vaikka valaisinpylvään tyyppipoikkileikkauksessa se on 2 astetta. Valaistusteknillisten vaatimusten toteutuminen 2 asteen kallistuskulmalla tulee todentaa uusin valaistusteknillisin laskennoin.

Taulukko 61. Kimalaisentie, 109–110.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)														
	0,65			1,95			3,25			4,55			5,85		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
1,35	11	34	-68	17	43	-60	23	46	-50	25	41	-39	21	25	-16
4,05	8	33	-76	13	39	-67	18	36	-50	20	26	-23	16	17	-6
6,75	6	28	-79	10	35	-71	16	30	-47	18	19	-5	15	11	36
9,45	4	23	-83	8	25	-68	11	21	-48	12	13	-8	11	8	38
12,15	3	20	-85	6	20	-70	9	17	-47	10	10	0	10	7	43
14,85	4	20	-80	6	20	-70	9	17	-47	10	10	0	9	7	29
17,55	4	23	-83	6	25	-76	10	21	-52	11	13	-15	11	8	38
20,25	5	28	-82	8	35	-77	13	30	-57	16	19	-16	14	11	27
22,95	6	33	-82	10	39	-74	16	36	-56	17	26	-35	15	17	-12
25,65	10	34	-71	15	43	-65	21	46	-54	25	41	-39	24	25	-4
Em,pit	6,1	27,6	-78	9,9	32,4	-69	14,6	30,0	-51	16,4	21,8	-25	14,6	13,6	7
E3min,pit/Em,pit	0,60	0,76	-21	0,61	0,67	-9	0,64	0,61	5	0,63	0,50	25	0,68	0,54	27
Em,kok	12,3	25,1	-51												
E3min,kok/Em,kok	0,30	0,29	2												

Taulukko 62. Kimalaisentie, 109–110.
Mittaustulokset ja vertailu, infraRYL:n mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
-5	8	23	-65	17	34	-50	9	13	-31
0	11	32	-66	25	42	-40	18	23	-22
5	6	23	-74	18	34	-47	14	13	8
12,15	3	18	-83	9	17	-47	9	6	50
13,5	3	17	-82	9	16	-44	8	6	33
14,85	2	18	-89	9	17	-47	9	6	50
22	5	23	-78	16	34	-53	13	13	0
27	9	32	-72	24	42	-43	20	23	-13
32	7	23	-70	20	34	-41	12	13	-8
Em,pit	6,0	23,2	-74	16,3	30,0	-46	12,4	12,9	-3
E3min,pit/Em,pit	0,44	0,76	-42	0,55	0,56	-1	0,70	0,47	50
Em,kok	11,6	22,0	-47						
E3min,kok/Em,kok	0,23	0,27	-16						

Taulukko 63. Kimalaisentie, 109–110.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
3,5	6	26	-77	18	38	-53	13	18	-28	109
8,5	3	21	-86	13	24	-46	11	8	38	
13,5	3	17	-82	9	16	-44	8	6	33	
18,5	3	21	-86	12	24	-50	10	8	25	
23,5	5	26	-81	15	38	-61	13	18	-28	
Em,pit	4,0	22,2	-82	13,4	28,0	-52	11,0	11,6	-5	110
E3min,pit/Em,pit	0,75	0,89	-15	0,85	0,76	11	0,88	0,63	39	
Em,kok	9,5	20,6	-54							
E3min,kok/Em,kok	0,32	0,36	-11							

Taulukko 64. Kimalaisentie, 109–110.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.
Valonjako P10.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
3,5	6	13	-54	18	40	-55	13	29	-55	109
8,5	3	9	-67	13	31	-58	11	19	-42	
13,5	3	10	-70	9	24	-63	8	15	-47	
18,5	3	9	-67	12	31	-61	10	19	-47	
23,5	5	13	-62	15	40	-63	13	29	-55	
Em,pit	4,0	10,8	-63	13,4	33,2	-60	11,0	22,2	-50	110
E3min,pit/Em,pit	0,75	0,86	-13	0,85	0,86	-2	0,88	0,80	10	
Em,kok	9,5	22,1	-57							
E3min,kok/Em,kok	0,32	0,42	-25							

6.2.10 Korennontie, Vantaa

Pylväät nro:	102–103
Pylväsväli S :	50 m
Ajoradan leveys W_r :	6 m
Valaisin:	Philips Manta 611HGV AC TP P15X, ST-150 (17500 lm)
Mittausajankohta:	22.4.2013
Mittausolosuhteet:	Pilvetön
Muut havainnot:	<p>Valaistusluokka AL4b. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 10 m, kallistuskulma 2 °. Valaisinpylvään 102 etäisyys ajoradan reunaviivasta -3,7 m. Valaisinpylvään 103 etäisyys ajoradan reunaviivasta -3,8 m. Molemmat valaisinpylväät jalkakäytävän takana. Valaisinvarren pituus 1 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -2,15 m (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin 3,75 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta). Valaisinpylväs 102 kallistunut mittausaluetta kohti n. 0,5 °. Kohteessa valaistuksen ohjaus (himmennys).</p>

Tulokset on esitetty taulukoissa 65–66. Mittaustuloksia InfraRYL:n mittauspisteverkosta ei ole saatavilla mittausteknisistä ongelmista johtuen.

Tuloksista nähdään, että mitatut kokonaiskeskiarvot poikkeavat laskennallisista kokonaiskeskiarvoista sekä standardinmukaisella että sovelletulla mittauspisteverkolla noin -60 %. Lisäksi mitatut pitkittäissuuntaiset keskiarvot poikkeavat molemmilla mittauspisteverkoilla tasaisesti noin -60 %. Tämän perusteella voidaan todeta, että valaisimien valovirta on alentunut merkittävästi.

Mittauskohteen valaisimissa on kaksitehokuristimet, joiden avulla valaisimen tehoa voidaan pudottaa kolmasosaan nimellisestä. Mittauskohteen valaisimissa tehoportaat ovat 150 W ja 100 W. Valaisimiin on siis asennettu 150 W:n lamput, mutta niitä voidaan himmentää siten, että tehonkulutus vastaa 100 W:n lamppua. Himmentämisen huono puoli on, että tehon laskiessa 30 %, valovirta laskee noin 50 % tai jopa enemmän.

Mittaustuloksista voidaan päätellä, että valaisimet oli kytketty alempaan tehoportaaseen, sillä valovirta on noin 60 % nimellistä pienempi.

Lopullisten johtopäätösten tekemiseksi mittaukset tulee suorittaa nimellisteholla.

Taulukko 65. Korennontie, 102–103.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)												
	0,75			2,25			3,75			5,25			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
1,47	9	25	-64	13	31	-58	13	36	-64	12	37	-68	102
4,41	9	22	-59	12	31	-61	13	37	-65	12	36	-67	
7,35	8	17	-53	10	28	-64	12	35	-66	11	32	-66	
10,29	6	13	-54	8	20	-60	9	24	-63	8	23	-65	
13,23	4	12	-67	6	15	-60	6	17	-65	6	15	-60	
16,18	4	10	-60	4	11	-64	4	12	-67	4	11	-64	
19,12	2	8	-75	3	9	-67	3	9	-67	3	8	-63	
22,06	2	7	-71	2	7	-71	2	7	-71	2	7	-71	
25	2	7	-71	2	7	-71	2	7	-71	1	6	-83	
27,94	1	7	-86	2	7	-71	2	7	-71	1	7	-86	
30,88	2	8	-75	2	9	-78	3	9	-67	2	8	-75	103
33,82	2	10	-80	3	11	-73	3	12	-75	3	11	-73	
36,76	3	12	-75	4	15	-73	5	17	-71	5	15	-67	
39,71	5	13	-62	5	20	-75	6	24	-75	7	23	-70	
42,65	6	17	-65	9	28	-68	10	35	-71	11	32	-66	
45,59	8	22	-64	11	31	-65	13	37	-65	14	36	-61	
48,53	8	25	-68	11	31	-65	12	36	-67	13	37	-65	
Em,pit	4,8	13,8	-66	6,3	18,3	-66	6,9	21,2	-67	6,8	20,2	-67	
E3min,pit/Em,pit	0,35	0,51	-31	0,32	0,38	-17	0,29	0,33	-13	0,20	0,33	-40	
Em,kok	6,2	18,4	-66										
E3min,kok/Em,kok	0,16	0,36	-55										

Taulukko 66. Korennontie, 102–103.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-5	8	17	-53	14	36	-61	13	32	-59	102
0	9	22	-59	14	37	-62	12	36	-67	
5	8	18	-56	12	36	-67	11	32	-66	
10	5	11	-55	9	24	-63	8	19	-58	
15	3	9	-67	5	14	-64	4	11	-64	
20	2	8	-75	3	9	-67	2	7	-71	
25	1	6	-83	1	7	-86	1	5	-80	
30	1	8	-88	2	9	-78	1	7	-86	
35	3	9	-67	4	14	-71	3	11	-73	
40	4	11	-64	7	24	-71	7	19	-63	
45	6	18	-67	12	36	-67	12	32	-63	103
50	9	22	-59	14	37	-62	13	36	-64	
55	8	17	-53	12	36	-67	10	32	-69	
Em,pit	5,2	13,5	-62	8,4	24,5	-66	7,5	21,5	-65	
E3min,pit/Em,pit	0,26	0,54	-52	0,24	0,34	-30	0,18	0,30	-39	
Em,kok	7,0	19,8	-65							
E3min,kok/Em,kok	0.14	0.30	-53							

6.2.11 Vartiolaakso, Lahti

Pylväsväli 9–10

Pylväät nro:	9–10
Pylväsväli S :	34 m
Ajoradan leveys W_r :	5,5 m
Valaisin:	Siteco SL10 MIDI LED 113W (8450 lm)
Mittausajankohta:	15.8.2013
Mittausolosuhteet:	Selkeää
Muut havainnot:	Valaistusluokka AL4a. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 8 m, kallistuskulma 5 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -1,3 m. Molemmat valaisinpylväät jalkakäytävän takana. Valaisinvarren pituus 1 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta +0,2 m. Valaisin 9 kiertynyt mittausalueesta poispäin. Valaisin 10 kääntynyt mittausaluetta kohti. Kohteessa valaistuksen ohjaus (himmennys).

Tulokset on esitetty taulukoissa 67–69.

Tuloksista nähdään, että mitatut kokonaiskeskiarvot poikkeavat laskennallisista kokonaiskeskiarvoista kaikilla mittauspisteverkolla noin -70 %. Lisäksi mitatut pitkittäispuuntaiset keskiarvot poikkeavat tasaisesti kaikilla mittauspisteverkoilla noin -70 %. Tämän perusteella voidaan todeta, että valaisimien valovirta on alentunut merkittävästi.

Mittauskohteessa on käytössä valaistuksen ohjaus, jolla voidaan säätää valaisimien tehoa. Mittaushetkellä valaisimien tehonkulutus oli 40 % nimellistehosta. Pienempi teho alentaa myös valaisimien valovirtaa, joka on nähtävissä mittautuloksista. Tehon pienetessä valovirtaa pienenee yleensä hieman enemmän.

Koska jokaisen mittauspisteverkon lähes jokaisessa mittauspisteessä mitatut valaistusvoimakkuusarvot poikkeavat yhtä paljon laskennallisista arvoista.. Koska valovirran alenema vaikuttaa tasaisesti koko mittausalueelle, johtuvat poikkeamat valaistuksen ohjauksesta.

Luotettavien johtopäätösten tekemiseksi valaistusmittaukset tulee suorittaa nimellisteholla. Tällä tavoin voidaan kuitenkin todeta valaistuksen ohjauksen toimivuus.

Alkuperäinen valaistusteknillinen laskenta oli lisäksi tehty alenemakertoimella 0,9, joka on liian korkea LED-valaisimille. Valaistusteknillisten vaatimusten toteutuminen tulee todentaa valaistusteknillisin laskelmin, joissa alenemakerroin on 0,65.

Alkuperäisessä valaistusteknillisessä laskennassa valaisimen valovirraksi oli ilmoitettu 8800 lm. Valmistajan valaisintietokannassa ilmoitettiin kyseisen valaisimen valovirraksi 8450 lm, joilla myös laskennalliset arvot on tässä laskettu. Mikäli valaisimien kuuluu tuottaa 8800 lm, ei todellinen valovirta todennäköisesti vastaa aivan luvattua.

Lopullisten johtopäätösten tekemiseksi tulee selvittää valaisimien oikea valovirta ja suorittaa uusintamittaukset nimellisteholla.

Taulukko 67. Vartiolaakso 9–10.

Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)												
	0,69			2,06			3,44			4,81			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
1,42	8,3	26	-68	9,4	24	-61	9,4	26	-64	9,4	23	-59	10
4,25	7,3	24	-70	7	24	-71	6,6	22	-70	5,7	20	-72	
7,09	6	20	-70	5,9	19	-69	5,7	18	-68	5,5	15	-63	
9,92	5	15	-67	5	13	-62	4,1	11	-63	3,9	10	-61	
12,75	4,1	11	-63	3,6	10	-64	2,8	8	-65	2,5	7	-64	
15,58	3,4	9	-62	2,7	8	-66	2	6	-67	1,4	4	-65	
18,42	3,5	9	-61	2,8	8	-65	2	6	-67	1,2	4	-70	
21,25	4,2	11	-62	3,8	10	-62	2,9	8	-64	2,1	7	-70	
24,08	5,4	15	-64	5,1	13	-61	4,3	11	-61	3,8	10	-62	
26,91	6,7	20	-67	6,4	19	-66	6,1	18	-66	5,6	15	-63	
29,75	7,5	24	-69	7,2	24	-70	6,8	22	-69	5,5	20	-73	9
32,58	8	26	-69	8,9	24	-63	9,2	26	-65	8,2	23	-64	
Em,pit	5,8	17,5	-67	5,7	16,3	-65	5,2	15,2	-66	4,6	13,2	-65	
E3min,pit/Em,pit	0,63	0,55	15	0,54	0,53	1	0,44	0,44	0	0,34	0,38	-10	
Em,kok	5,3	15,5	-66										
E3min,kok/Em,kok	0.29	0.30	-3										

Taulukko 68. Vartiolaakso 9–10.

Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-3	8,5	27	-69	7,8	23	-66	4,3	17	-75	10
0	8,1	26	-69	10,5	34	-69	10	27	-63	
3	8,1	27	-70	7,5	23	-67	4,8	17	-72	
8,5	5,7	17	-66	5,2	15	-65	4,2	11	-62	
14	4	11	-64	2,7	8	-66	1,6	5	-68	
17	3,5	10	-65	2,3	7	-67	1	3	-67	
20	3,9	11	-65	2,6	8	-68	1,3	5	-74	
25,5	6,5	17	-62	5,5	15	-63	3,8	11	-65	
31	7,9	27	-71	7,7	23	-67	3,9	17	-77	
34	8	26	-69	10,2	34	-70	9,3	27	-66	9
37	7,4	27	-73	7,4	23	-68	3,9	17	-77	
Em,pit	6,5	20,5	-68	6,3	19,4	-67	4,4	14,3	-69	
E3min,pit/Em,pit	0,58	0,52	12	0,40	0,40	1	0,30	0,30	-2	
Em,kok	5,7	18,1	-68							
E3min,kok/Em,kok	0,23	0,24	-5							

Taulukko 69. Vartiolaakso 9–10.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
2	8,1	26	-69	8,5	26	-67	5,5	20	-73	10
7	5,7	20	-72	5,6	18	-69	5	15	-67	
12	4,6	13	-65	3,5	10	-65	2,4	6	-60	
17	3,5	10	-65	2,3	7	-67	1	3	-67	
22	4,6	13	-65	3,5	10	-65	2,1	6	-65	
27	6,5	20	-68	6,2	18	-66	4,3	15	-71	
32	7,7	26	-70	9,3	26	-64	4,5	20	-78	9
Em,pit	5,8	18,3	-68	5,6	16,4	-66	3,5	12,1	-71	
E3min,pit/Em,pit	0,73	0,66	11	0,56	0,55	2	0,52	0,41	26	
Em,kok	5,0	15,6	-68							
E3min,kok/Em,kok	0,36	0,32	13							

Pylväsväli 28–29 (kevyen liikenteen väylä)

Pylväät nro:	28–29
Pylväsväli S :	28 m
Ajoradan leveys W_r :	3 m
Valaisin:	Siteco SL10 MICRO LED 17,5 W (1190 lm)
Mittausajankohta:	15.8.2013
Mittausolosuhteet:	Selkeää
Muut havainnot:	Valaistusluokka K5. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus 6 m, kallistuskulma 0 °. Valaisinpylvään 28 etäisyys ajoradan reunaviivasta -1 m. Valaisinpylvään 29 etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,9 m. Varreton. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,6 m (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin -0,95 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta). Valaisin 29 kääntynyt mittausalueesta poispäin.

Tulokset on esitetty taulukoissa 70–72.

Tuloksista nähdään, että mitatut kokonaiskeskiarvot ja pitkittäissuuntaiset keskiarvot vastaavat melko hyvin laskennallisia kokonaiskeskiarvoja ja pitkittäissuuntaisia keskiarvoja. Tästä voidaan päätellä, että valaisimien valovirta on oikea. Mittauspisteverkkojen välillä on pieniä eroja. Erot johtuvat todennäköisesti siitä, että ajorataa ei ollut vielä päällystetty, minkä vuoksi mittauspisteiden koordinaattien tarkka määrittäminen vaikeutui.

Yksittäisistä mittauspisteistä sekä tasaisuusarvoista voidaan kuitenkin nähdä, että mittausalueen keskeltä puuttuu merkittävästi valoa. Mitatut valaistusvoimakkuusarvot poikkeavat noin -50 % laskennallisista arvoista. Ilmiö havaittiin myös silmämääräisesti, sillä mittausalueen keskellä oli tumma kohta. Valaistuksen epätasaisuus johtuu todennäköisesti siitä, että valaisin 29 on kääntynyt mittausalueesta poispäin. Kääntyminen havaittiin silmämääräisesti.

Kääntynyt valaisin tulee suoristaa.

Alkuperäinen valaistusteknillinen laskenta oli tehty alenemakertoimella 0,9, joka on liian korkea LED-valaisimille. Lisäksi alkuperäisessä valaistusteknillisessä laskennassa valaisimen valovirraksi oli ilmoitettu 1240 lm. Valmistajan valaisintietokannassa ilmoitettiin kyseisen valaisimen valovirraksi 1190 lm, joilla myös laskennalliset arvot on tässä laskettu. Mikäli valaisimien kuuluu tuottaa 1240 lm, ei todellinen valovirta todennäköisesti vastaa aivan luvattua. Lopullisten johtopäätösten tekemiseksi tulee selvittää valaisimien oikea valovirta.

Taulukko 70. Vartiolaakso 9–10.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, standardinmukainen mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa (m)								
		0,5			1,5			2,5		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
28	1,4	6,4	7,1	-10	5,8	6,5	-11	5,6	6,1	-8
	4,2	4,5	4,3	5	4,5	4,2	7	4,5	4,5	0
	7	3,1	2,8	11	2,9	3,1	-6	3,2	3,9	-18
	9,8	1,2	1,8	-33	1,7	2,1	-19	2	2,5	-20
	12,6	0,5	1,1	-55	0,9	1,4	-36	1,3	1,7	-24
	15,4	0,4	1,1	-64	0,6	1,4	-57	1	1,7	-41
	18,2	1,1	1,8	-39	1,7	2,1	-19	2,1	2,5	-16
	21	3,5	2,8	25	3,5	3,1	13	3,4	3,9	-13
	23,8	5	4,3	16	4,7	4,2	12	5,1	4,5	13
29	26,6	6,6	7,1	-7	6,4	6,5	-2	5,7	6,1	-7
Em,pit		3,2	3,4	-6	3,3	3,5	-5	3,4	3,7	-9
E3min,pit/Em,pit		0,21	0,39	-47	0,33	0,47	-31	0,42	0,53	-20
Em,kok		3,3	3,5	-7						
E3min,kok/Em,kok		0,15	0,34	-55						

Taulukko 71. Vartiolaakso 9–10.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, infraRYL:n mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
28	-3	4,6	4,3	7	5,5	5	10	5,4	5,5	-2
	0	7	7,4	-5	8,7	9	-3	6,5	7	-7
	3	4	4,3	-7	4,9	5	-2	5	5,4	-7
	7	2,7	1,9	42	2,9	2,3	26	3,5	2,9	21
	11	0,7	1,3	-46	1,5	1,7	-12	1,9	2,2	-14
	14	0,3	0,9	-67	0,7	1,4	-50	1,2	1,8	-33
	17	0,5	1,3	-62	1,1	1,7	-35	1,6	2,2	-27
	21	3,2	1,9	68	3,5	2,3	52	3,7	2,9	28
	25	4	4,3	-7	5	5	0	5,3	5,4	-2
29	28	6,4	7,4	-14	8,5	9	-6	6,2	7	-11
	31	4	4,3	-7	4,8	5	-4	5,2	5,5	-5
Em,pit		3,4	3,6	-5	4,3	4,3	-1	4,1	4,3	-5
E3min,pit/Em,pit		0,15	0,33	-55	0,26	0,37	-31	0,38	0,48	-20
Em,kok		3,9	4,1	-3						
E3min,kok/Em,kok		0,13	0,29	-56						

Taulukko 72. Vartiolaakso 9–10.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovellettu mittauspisteverkko.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
28	4	4,3	4,2	2	4,5	4,3	5	4,4	4,5	-2
	9	1,5	2	-25	2,1	2,4	-13	2,5	3,1	-19
	14	0,3	0,9	-67	0,7	1,4	-50	1,2	1,8	-33
	19	1,4	2	-30	2,5	2,4	4	3,1	3,1	0
29	24	5	4,2	19	5	4,3	16	5	4,5	11
	Em,pit	2,5	2,7	-6	3,0	3,0	0	3,2	3,4	-5
	E3min,pit/Em,pit	0,43	0,61	-31	0,60	0,70	-15	0,70	0,78	-11
	Em,kok	2,9	3,0	-4						
	E3min,kok/Em,kok	0,25	0,45	-44						

6.2.12 Kaerlantie, Turku

Turun mittauskohteista ei ollut saatavilla valaistuksen rakennussuunnitelmia, joten valaisintyyppi, asennuskorkeus, valaisinvarren pituus ja kallistuskulma arvioitiin jokaisessa kohteessa silmämääräisesti. Valaisimien tehot, valovirrat ja valonjaot arvioitiin valaistusteknillisin tarkastelujen avulla. Koska luotettavia lähtötietoja ei ollut, eivät mittauskohteiden laskennalliset arvot ja vertailutulokset ole täysin luotettavia. Vaikka mittaus tulokset ja laskennalliset arvot vastaisivatkin toisiaan, ei valaistusasennuksen oikeellisuudesta ole varmuutta, sillä alkuperäisten suunnitelmien vaatimuksia ei tiedetä.

Turun mittauskohteissa valaistusmittaukset suoritettiin yhdellä mittauspisteverkolla, jossa yhdistettiin sovelletun ja infraRYL:n mittauspisteverkon ominaisuudet (ks luvut 5.4.2 ja 5.4.3).

Pylväsväli 3–4

Pylväät nro:	3–4 (Kaerlantien ja Pulmussuonkadun liittymästä Tampereen valtatie suuntaan)
Pylväsväli S :	30 m
Ajoradan leveys W_r :	8 m
Valaisin:	EasyLED ProWave 60 50W 5000K (5243 lm)
Mittausajankohta:	30.8.2013
Mittausolosuhteet:	Selkeää.
Muut havainnot:	Valaistusluokka ei tiedossa. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus n. 10 m, kallistuskulma n. 15 °. Valaisinpylvään 3 etäisyys ajoradan reunaviivasta -1,55 m. Valaisinpylvään 4 etäisyys ajoradan reunaviivasta -1,47 m. Molemmat valaisinpylväät jalkakäytävän takana. Valaisinvarren pituus n. 1,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta keskimäärin +0,2 m. (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin -1,5 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta) Valaisin 3 kääntynyt hieman mittausaluetta kohti. Valaisinpylväs 4 kallellaan mittausaluetta kohti, valaisin kiertynyt ja kääntynyt mittausalueesta poispäin.

Tulokset on esitetty taulukossa 73.

Tuloksista nähdään, että silmämääräisillä havainnoilla päädyttiin suurin piirtein oikeansuuntaisiin havaintoihin, sillä mitatut ja laskennalliset arvot vastaavat toisiaan kohtalaisesti lähtökohtiin nähden. Mitatut arvot ovat yleisesti pienempiä kuin laskennalliset arvot, mutta lopullisia johtopäätöksiä ei voida tehdä, koska alkuperäiset suunnitelmat puuttuvat.

Silmämääräisten havaintojen perusteella valaisinpylväiden puoleinen ajokaista oli liian pimeä. Koska valoa tulee liian vähän valaisinpylväiden puolelle ajorataa, on valaisimien kallistuskulma liian suuri. Ilmiö voidaan havaita myös yksittäisistä mittaus tuloksista,

sillä valaisinpylväiden puolella ajorataa valaistusvoimakkuudet ovat merkittävästi pienempiä kuin toisella puolella ajorataa. Valaistusteknillisten vaatimusten täyttyminen tulee todentaa valaistusteknillisin laskennoin.

Lisäksi silmämääräisten havaintojen perusteella mittauskohteessa ja suunnittelualueella kokonaisuudessaan tulee suorittaa valaisinpylväiden, valaisinvarsien ja valaisimien suoristus.

Taulukko 73. Kaerlantie 3–4.

Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovelletun ja infraRYL:n mittauspisteverkon yhdistelmä.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
-3	6,3	8,7	-28	12,5	14,5	-14	2,9	1,9	53
0	6,8	9,4	-28	12,5	13,5	-7	3,1	1,8	72
3	6,9	8,7	-21	14,5	14,5	0	2,9	1,9	53
6	8,2	9,1	-10	15	13,8	9	2,1	2,1	0
9	9,6	10	-4	11,9	12,6	-6	1,5	2,5	-40
12	10,9	10,5	4	11	12,3	-11	1,2	2,2	-45
15	10,5	10,7	-2	9,8	12	-18	1,1	1,9	-42
12	8,6	10,5	-18	9	12,3	-27	1,5	2,2	-32
9	6,7	10	-33	9	12,6	-29	2	2,5	-20
6	6	9,1	-34	11,5	13,8	-17	2,7	2,1	29
3	6,1	8,7	-30	12,5	14,5	-14	3,3	1,9	74
0	6,4	9,4	-32	11,8	13,5	-13	3,2	1,8	78
-3	6,3	8,7	-28	13,3	14,5	-8	3	1,9	58
Em,pit	7,6	9,5	-20	11,9	13,4	-12	2,3	2,1	14
E3min,pit/Em,pit	0,80	0,92	-12	0,78	0,91	-14	0,54	0,89	-40
Em,kok	7,3	8,3	-12						
E3min,kok/Em,kok	0,17	0,22	-21						

Pylväsväli 4–5

Pylväät nro:	4–5 (Kaerlantien ja Pulmussuonkadun liittymästä Tampereen valtatie suuntaan)
Pylväsväli S :	31 m
Ajoradan leveys W_r :	8 m
Valaisin:	EasyLED ProWave 60 50W 5000K (5243 lm)
Mittausajankohta:	30.8.2013
Mittausolosuhteet:	Selkeää.
Muut havainnot:	Valaistusluokka ei tiedossa. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus n. 10 m, kallistuskulma n. 15 °. Valaisinpylvään 4 etäisyys ajoradan reunaviivasta -1,47 m. Valaisinpylvään 5 etäisyys ajoradan reunaviivasta -1,64 m. Molemmat valaisinpylväät jalkakäytävän takana. Valaisinvarren pituus n. 1,5 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta keskimäärin +0,2 m. (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin -1,5 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta). Valaisinpylväs 4 kallellaan mittausalueesta poispäin, valaisin kiertynyt ja kääntynyt mittausaluetta kohti. Valaisinpylväs 5 kallistunut mittausaluetta kohti, valaisin kääntynyt n. 10 ° mittausalueesta poispäin.

Tulokset on esitetty taulukossa 74.

Mittaustulokset ovat samansuuntaisia kuin pylväsvälin 3–4 mittaustulokset. Tuloksista nähdään, että silmämääräisillä havainnoilla päädyttiin suurin piirtein oikeasuuntaisiin havaintoihin, sillä mitatut ja laskennalliset arvot vastaavat toisiaan kohtalaisesti lähtökohtiin nähden. Mitatut arvot ovat yleisesti pienempiä kuin laskennalliset arvot, mutta lopullisia johtopäätöksiä ei voida tehdä, koska alkuperäiset suunnitelmat puuttuvat.

Silmämääräisten havaintojen perusteella valaisinpylväiden puoleinen ajokaista oli liian pimeä. Koska valoa tulee liian vähän valaisinpylväiden puolelle ajorataa, on valaisimien kallistuskulma liian suuri. Ilmiö voidaan havaita myös yksittäisistä mittaustuloksista, sillä valaisinpylväiden puolella ajorataa valaistusvoimakkuudet ovat merkittävästi pienempiä kuin toisella puolella ajorataa. Valaistusteknillisten vaatimusten täytyminen tulee todentaa valaistusteknillisin laskennoin.

Lisäksi silmämääräisten havaintojen perusteella mittauskohteessa ja suunnittelualueella kokonaisuudessaan tulee suorittaa valaisinpylväiden, valaisinvarsien ja valaisimien suoristus.

Taulukko 74. Kaerlantie 4–5.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovelletun ja infraRYL:n mittauspisteverkon yhdistelmä.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa									
	Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva			
	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	
-3	6,6	8,3	-20	13,2	14,2	-7	3,2	1,8	78	5
0	7	9	-22	13,7	13,3	3	3,3	1,6	106	
0,5	7,1	8,4	-15	14	14,2	-1	3,4	1,9	79	
3	7,3	8,3	-12	14,9	14,2	5	3,1	1,8	72	
3,5	7,6	8,3	-8	15	14,1	6	2,9	1,9	1	
6,5	8,5	8,8	-3	13,2	13,2	0	2,1	2,3	1	
9,5	9,8	9,7	1	11	12	-8	1,5	2,3	2	
12,5	9,8	10,3	-5	9,4	11,8	-20	1,1	2,1	1	
15,5	10	10,5	-5	8,3	11,6	-28	1,1	1,7	1	
12,5	7,7	10,3	-25	7,6	11,8	-36	1,4	2,1	1	
9,5	6,2	9,7	-36	8,3	12	-31	1,8	2,3	2	
6,5	5,9	8,8	-33	10,6	13,2	-20	2,1	2,3	1	
3,5	6,1	8,3	-27	12,5	14,1	-11	2,9	1,9	1	
3	6,3	8,3	-24	12,5	14,2	-12	2,9	1,8	61	
0,5	7	8,9	-21	12,4	14,1	-12	3	1,9	58	4
0	6,8	9	-24	12,5	13,3	-6	3,1	1,6	94	
-3	6,9	8,3	-17	14,5	14,2	2	2,9	1,8	61	
Em,pit	7,4	9,0	-17	12,0	13,3	-10	2,5	1,9	26	
E3min,pit/Em,pit	0,81	0,92	-12	0,67	0,88	-24	0,49	0,84	-42	
Em,kok	7,3	8,1	-10							
E3min,kok/Em,kok	0,16	0,20	-19							

6.2.13 Pulmussuontie, Turku

Mittaustuloksien ja johtopäätösten pohjaksi katso luku 6.2.12.

Pylväsväli 1–2

Pylväät nro:	1–2 (Pulmussuontien ja Savonkedonkadun liittymästä Kaerlantien suuntaan)
Pylväsväli S :	32 m
Ajoradan leveys W_r :	6 m
Valaisin:	EasyLED ProWave 60 50W 5000K (5243 lm)
Mittausajankohta:	30.8.2013
Mittausolosuhteet:	Selkeää.
Muut havainnot:	Valaistusluokka ei tiedossa. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus n. 10 m, kallistuskulma n. 15 °. Valaisinpylvään 1 etäisyys ajoradan reunaviivasta -1,82 m. Valaisinpylvään 4 etäisyys ajoradan reunaviivasta -2 m. Molemmat valaisinpylväät jalkakäytävän takana. Valaisinvarren pituus n. 1 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta keskimäärin -0,6 m. (laskettu niin, että valaisinpylväät keskimäärin -1,9 m etäisyydellä ajoradan reunaviivasta)

Tulokset on esitetty taulukossa 75.

Tuloksista nähdään, että silmämääräisillä havainnoilla päädyttiin suurin piirtein oikeansuuntaisiin havaintoihin, sillä mitatut ja laskennalliset arvot vastaavat toisiaan kohtalaisesti lähtökohtiin nähden. Mitatut arvot ovat yleisesti pienempiä kuin laskennalliset arvot, mutta lopullisia johtopäätöksiä ei voida tehdä, koska alkuperäiset suunnitelmat puuttuvat.

Silmämääräisten havaintojen perusteella ajoradalle tulee mittauskohteessa tasaisesti valoa. Ilmiö voidaan havaita myös vertailemalla Pulmussuontien mittaustuloksia Kaerlantien mittaustuloksiin. Pulmussuontiellä valaistusvoimakkuusarvot ovat merkittävästi korkeammat valaisinpylväiden puolella ajorataa kuin Kaerlantiellä. Valaisinpylväiden vastakkaisella puolella ajorataa valaistusvoimakkuudet ovat kuitenkin samansuuruisia, joten tasaisuus on parempi Pulmussuontiellä.

Taulukko 75. Pulmussuontie 1–2.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovelletun ja infraRYL:n mittauspisteverkon
yhdistelmä.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
2	-3	4,5	6,5	-31	12,8	14	-9	7,5	8,8	-15
	0	6,2	6,7	-7	12	13,2	-9	8,5	10,3	-17
	1	6,7	6,7	0	12,6	13,5	-7	8	9,6	-17
	3	7,4	6,5	14	13,7	14	-2	7,2	8,8	-18
	4	8	6,7	19	12,9	13,8	-7	7,1	8,9	-20
	7	6,8	6,3	8	11,9	12,8	-7	7,7	9,6	-20
	10	4,6	4,9	-6	9,8	11,6	-16	8,6	9,7	-11
	13	3,3	4,1	-20	9,4	11,1	-15	10,4	10,2	2
	16	2,8	3,9	-28	9,9	11	-10	11,3	10,1	12
	13	2,6	4,1	-37	10,3	11,1	-7	10,5	10,2	3
	10	2,9	4,9	-41	10,8	11,6	-7	9,7	9,7	0
	7	3,4	6,3	-46	12,6	12,8	-2	9,5	9,6	-1
	4	4,4	6,7	-34	14,3	13,8	4	8,9	8,9	0
	3	4,8	6,5	-26	14,1	14	1	8,2	8,8	-7
	1	5,2	6,7	-22	13,5	13,5	0	7,9	9,6	-18
1	0	5,5	6,7	-18	12,7	13,2	-4	8,6	10,3	-17
	-3	6,3	6,5	-3	13,7	14	-2	6,7	8,8	-24
Em,pit		5,0	5,9	-15	12,2	12,9	-5	8,6	9,5	-10
E3min,pit/Em,pit		0,55	0,68	-19	0,80	0,86	-7	0,81	0,92	-12
Em,kok		8,6	9,4	-9						
E3min,kok/Em,kok		0,32	0,43	-25						

Pylväsväli 4–5

Pylväät nro:	4–5 (Pulmussuontien ja Nunnavuorenkadun liittymästä Kaerlantien suuntaan)
Pylväsväli S :	28 m
Ajoradan leveys W_r :	6 m
Valaisin:	EasyLED ProWave 60 50W 5000K (5243 lm)
Mittausajankohta:	30.8.2013
Mittausolosuhteet:	Selkeää.
Muut havainnot:	Valaistusluokka ei tiedossa. 1-rivinen reunasijoitus. Asennuskorkeus n. 10 m, kallistuskulma n. 15 °. Molempien valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaviivasta -1,35 m. Molemmat valaisinpylväät jalkakäytävän takana. Valaisinvarren pituus n. 1 m. Valopisteen etäisyys ajoradan reunaviivasta -0,1 m. Valaisin 4 kääntynyt mittausalueesta pois päin n. 10 °. Valaisin 5 kääntynyt mittausaluetta kohti n. 10 °.

Tulokset on esitetty taulukossa 76.

Tuloksista nähdään, että silmämääräisillä havainnoilla päädyttiin suurin piirtein oikeansuuntaisiin havaintoihin, sillä mitatut ja laskennalliset arvot vastaavat toisiaan kohtalaisesti lähtökohtiin nähden. Mitatut arvot ovat yleisesti pienempiä kuin laskennalliset arvot, mutta lopullisia johtopäätöksiä ei voida tehdä, koska alkuperäiset suunnitelmat puuttuvat.

Tässä mittauskohteessa mitatut kokonaiskeskiarvot ja pitkittäissuuntaiset keskiarvot ovat merkittävästi laskennallisia kokonaiskeskiarvoja ja pitkittäissuuntaisia keskiarvoja pienempiä. Erityisesti valaisinpylvään 4 kohdalla mitatut arvot poikkeavat merkittävästi laskennallisista arvoista. Mittaus suoritettiin näissä mittauspisteissä useasti, joten yksittäisestä mittausvirheestä ei ole kyse. Mittausalueen poikki menee ilmajohto, mutta sen luoma varjo kulki ainoastaan yhden mittauspisteen yli (merkitty punaisella taustalla taulukkoon 76) eikä sitä ole huomioitu keskiarvojen laskennassa. Ilmajohdon varjo ei siis ole syynä poikkeaviin arvoihin. Syy poikkeamiin on todennäköisesti muutaman yksittäisen ledin himmentyminen. Lisäksi tuloksiin vaikuttaa valaisimien asentoon liittyvät virheet.

Kuten pylväsvälin 1–2 tapauksessa, silmämääräisten havaintojen perusteella ajoradalle tulee mittauskohteessa tasaisesti valoa. Ilmiö voidaan havaita myös vertailemalla mittaus tuloksia Kaerlantien mittaus tuloksiin. Pulmussuontiellä valaistusvoimakkuusarvot ovat merkittävästi korkeammat valaisinpylväiden puolella ajorataa kuin Kaerlantiellä. Valaisinpylväiden vastakkaisella puolella ajorataa valaistusvoimakkuudet ovat kuitenkin samansuuruisia, joten tasaisuus on parempi Pulmussuontiellä.

Silmämääräisten havaintojen perusteella mittauskohteessa ja suunnittelualueella kokonaisuudessaan tulee suorittaa valaisinpylväiden, valaisinvarsien ja valaisimien suoristus.

Taulukko 76. Pulmussuontie 4–5.
Mittaustulokset ja laskennalliset arvot, sovelletun ja infraRYL:n mittauspisteverkon yhdistelmä.

Punaisella taustalla merkityt mittauspisteet sijaitsevat varjossa.

	Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
5	-3	3,8	10	-62	14,3	16	-11	9,1	11	-17
	0	6,9	11	-37	13,5	15	-10	9,1	12	-24
	2	10,2	11	-7	13,9	16	-13	8,8	11	-20
	3	11,6	10	16	13,2	16	-18	8	11	-27
	5	12,1	10	21	11,3	16	-29	7,5	11	-32
	8	9,5	8	19	8,7	15	-42	7,5	12	-38
	11	7,7	7	10	7	14	-50	9	13	-31
	14	6,3	6	5	7,5	14	-46	11,1	13	-15
	11	5,3	7	-24	8,4	14	-40	11,6	13	-11
	8	4,3	8	-46	10,3	15	-31	11,3	12	-6
	5	3,8	10	-62				11,6	11	5
	3	3,9	10	-61	14,8	16	-8	11,1	11	1
	2	3,9	11	-65	15,2	16	-5	10,5	11	-5
4	0	4,1	11	-63	14,5	15	-3	10	12	-17
	-3	5,5	10	-45	14,3	16	-11	8	11	-27
	Em,pit	6,6	9,3	-29	11,9	15,3	-22	9,6	11,7	-18
	E3min,pit/Em,pit	0,58	0,71	-19	0,64	0,92	-30	0,80	0,94	-15
	Em,kok	9,1	11,8	-22						
	E3min,kok/Em,kok	0,42	0,57	-26						

6.3 Yhteenveto laadunvarmistusmittauksista mittaustuloksista

ja

6.3.1 Eri menetelmien soveltuvuus laadunvarmistukseen

Tämän työn mittaustulosten perusteella valaistusvoimakkuusmittaus sopii erinomaisesti tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmäksi, kun mitattavan kohteen lähtötiedot, esimerkiksi valaistuksen rakennussuunnitelma, ovat saatavilla. Silmämääräiset havainnot parantavat menetelmän luotettavuutta olennaisesti. Mittauskohteen virta- ja jännitearvojen selvittäminen parantaa edelleen mittaustuloksista tehtävien johtopäätösten luotettavuutta.

Tämän työn mittaustulosten perusteella valaistusvoimakkuusmittauksen avulla voidaan erityisen hyvin havaita valovirtoihin ja valonjakoihin liittyvät puutteet. Valaisimien suuntaukseen liittyvät puutteet havaitaan luotettavimmin silmämääräisesti.

Taulukkoon 77 on koottu kohteittain eri mittauspisteverkkojen mitattujen ja laskennallisten kokonaiskeskiarvojen $E_{m, kok}$ sekä pitkittäissuuntaisten keskiarvojen $E_{m, pit}$ suhteelliset erot. Standardinmukaisen mittauspisteverkon (ks. luku 5.4.1) pitkittäissuuntaisten keskiarvojen suhteelliset erot eivät ole muiden mittauspisteverkkojen kanssa aivan vertailukelpoisia, sillä pitkittäissuuntaisten mittauspistejonojen lukumäärä ja sijainti ajoradan poikittaissuunnassa vaihtelevat ajoradan leveyden mukaan. Sovelletulla mittauspisteverkolla (ks. luku 5.4.3) ja infraRYLn mukaisella mittauspisteverkolla (ks. luku 5.4.2) vastaavat arvot ovat vertailukelpoisia, sillä pitkittäissuuntaiset mittauspistejonot sijaitsevat aina ajokaistojen reunaviivoilla.

Yhteenvetotaulukko 77 sekä mittaustulokset kokonaisuudessaan osoittavat, että samansuuntaisten johtopäätösten tekeminen on mahdollista vaikka mittauspisteiden sijainti ja lukumäärä poikkeaa standardinmukaisesta. Parhaiten standardinmukaisen mittauspisteverkon tuloksia vastaa sovellettu mittauspisteverkko. Tämän perusteella yksinkertaisemman mittauspisteverkon käyttö on mahdollista ilman, että johtopäätösten luotettavuus kärsii.

Taulukko 77. Yhteenveto mitattujen ja laskennallisten kokonaiskeskiarvojen $E_{m, kok}$ ja pitkittäissuuntaisten keskiarvojen $E_{m, pit}$ suhteellisista eroista. Punaisella taustalla lukuarvot poikkeavat merkittävästi muiden mittauspisteverkkojen vastaavista arvoista. Turku puuttuu vertailusta, koska kohteen lähtötiedot puuttuivat, jolloin tulosten luotettavuutta ei voida varmistaa.

Kohde	Mittauspisteverkko														
	Standardinmukainen mittauspisteverkko						InfraRYL:n mittauspisteverkko					Sovellettu mittauspisteverkko			
	Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa vaihtelee mittauskohteittain.						Kokonais keskiarvo Em,kok (ero-%)	reuna	keski	reuna	Kokonais keskiarvo Em,kok (ero-%)	reuna	keski	reuna	Kokonais keskiarvo Em,kok (ero-%)
	Pituussuuntaiset keskiarvot Em,pit (ero-%)							Pituussuuntaiset keskiarvot Em,pit (ero-%)				Pituussuuntaiset keskiarvot Em,pit (ero-%)			
Kilpilahti															
132-133	1	-3	-7	-7	1		-4	0	-6	6	-1	0	-6	4	-2
139-140	23	9	-3	-9	-13		-0,4	2	1	-6	-1	16	-3	-13	-2
223-224	18	5	-6	-10	-13		-3	7	2	-6	1	21	-3	-14	-1
254-255	2	-5	-14	-18	-19		-12	-3	-6	-10	-6	1	-10	-16	-9
263-264	10	-1	-8	-12	-12		-6	1	5	-3	1	9	-3	-8	-2
294-295	9	12	2	1	-8	-8	3	0	9	3	5	8	6	-4	3
602-603	12	10	-1	0	-4	-6	1	3	19	5	11	8	3	-1	3
Helsinki															
Ilvestie	-9	-14	-14	-14			-13	4	-16	-16	-11	4	-16	-14	-10
Näätälä	-15	-19	-19	-19			-18	-3	-18	-14	-14	-1	-18	-16	-14
Yliskylänt.	-18	-18	-20	-24			-20	-17	-15	-15	-16	-18	-23	-22	-21
Umpilaid.p.	14	9	5				9	4	2	3	3	8	6	5	6
Vantaa															
Kaislatie	-5	-19	-5				-10	24	-21	-20	-8	14	-15	-27	-13
Kimalatie	7	-25	-51	-69	-78		-51	-3	-46	-74	-47	-5	-52	-82	-54
Korennon.	-67	-67	-66	-66			-66	ei saatavilla				-65	-66	-62	-65
Lahti															
9-10	-65	-66	-65	-67			-66	-69	-67	-68	-68	-71	-66	-68	-68
28-29	-6	-5	-9				-7	-5	-1	-5	-3	-6	0	-5	-4

6.3.2 Mitattujen ja laskennallisten arvojen vastaavuus

Tämän työn mittaustulosten perusteella voidaan sanoa, että mitatut ja laskennalliset arvot vastaavat toisiaan vaihtelevasti. Se tarkoittaa, että mitatut ja laskennalliset kokonaiskeskiarvot vastaavat toisiaan hyvin, mutta yksittäisissä mittauspisteissä mitattujen ja laskennallisten arvojen välillä saattaa tapauskohtaisesti olla suuriakin suhteellisia eroja. Suuret suhteelliset erot mitattujen ja laskennallisten arvojen välillä korostuvat erityisesti pylväsvälin keskellä, jossa valaistusvoimakkuusarvot ovat yleensä pieniä. Pienillä arvoilla pienetkin erot ovat suhteellisesti suuria.

Yksittäisiin mittauspisteisiin vaikuttavat yksittäiset mittausvirheet. Yksittäinen mittausvirhe voi koostua useasta tekijästä (ks. luku 5.5.1) ja eri tekijät saattavat vaihdella mittauspisteen sijainnista riippuen. Myös virhetekijän vaikutus mittaustulokseen vaihtelee mittauspisteen sijainnin mukaan. Keinoja yksittäisten mittausvirheiden eliminointiin on esitetty luvussa 5.5.1.

Yksittäisiä mittauspisteitä on tarkasteltava kokonaisvaltaisesti. Jos yksittäisten mittauspisteiden mittausvirheet ovat satunnaisia, pitäisi myös mitatun ja laskennallisen arvon suhteellisen eron vaihdella satunnaisesti. Mikäli monen yksittäisen mittauspisteen mitatun ja laskennallisen arvon poikkeama on samansuuntainen, voidaan valaistusasennuksen oikeellisuutta epäillä.

Mitattujen ja laskennallisten kokonaiskeskiarvojen hyvä vastaavuus on selitettävissä sillä, että yksittäisten mittausvirheiden merkitys pienenee. Tämä on olennainen asia, koska tällöin merkittävä poikkeama kokonaiskeskiarvossa tarkoittaa todennäköisesti myös merkittävää poikkeamaa valaistusasennuksessa.

6.3.3 Sallittavat poikkeamat mitattujen ja laskennallisten arvojen välillä

Luvussa 5.6.2 esitettiin mittaustuloksista tarkasteltavat tunnusluvut ja luvussa 5.6.3 tarkasteltiin mittaustuloksille sallittavia poikkeamia. Samassa luvussa todettiin kuitenkin, että mitattujen ja laskennallisten arvojen välisille poikkeamille on hankalaa löytää yleispäteviä rajoja, sillä mittausvirheen suuruus ja siten vaikutus mittaustuloksiin on tapauskohtaista. Tämän työn mittaustulosten perusteella saadaan kuitenkin käsitys siitä, minkälaisella tarkkuudella laadunvarmistusmittaukset on keskimäärin mahdollista suorittaa.

Tämän työn mittaustulosten perusteella mitatut ja laskennalliset kokonaiskeskiarvot vastaavat toisiaan hyvin, jos mittauskohteen valaistusasennus on virheetön. Katso taulukko 78. Siten kokonaiskeskiarvolle sallittava poikkeama voidaan asettaa pieneksi. Tämän työn mittaustulosten perusteella voidaan vaatimukseksi asettaa, että mitattu kokonaiskeskiarvo $E_{m, kok}$ saa poiketa laskennallisesta enintään -5 %.

Tämän työn mittaustulosten perusteella voidaan vaatimukseksi asettaa, että mittausalueen kolmen pienimmän valaistusvoimakkuusarvon keskiarvon suhde kokonaiskeskiarvoon $E_{3min, m} / E_{m, kok}$ saa poiketa laskennallisesta enintään -40 %. Katso taulukko 78.

Tämän työn mittaustulosten perusteella voidaan vaatimukseksi asettaa, että mitattujen ja laskennallisten pitkittäissuuntaisten keskiarvojen suhteelliset erot saavat poiketa toisistaan enintään 10 %-yksikköä. Katso taulukko 78.

Valaistuskohteen silmämääräisen tarkastelun huomioiminen on tärkeää. Silmämääräisen tarkastelun avulla voidaan ehkäistä mahdollisten mittaus- ja huolimattomuusvirheiden vaikutus mittaustuloksista tehtäviin johtopäätöksiin.

Jos mittaustulokset eivät täytä yllä mainittuja ehtoja, tulee poikkeamien syy selvittää. Mitatut arvot voivat poiketa laskennallisista asennusvirheen vuoksi tai kyseessä voi olla mittausvirhe. Kun poikkeamien syy on selvitetty, päätetään jatkotoimenpiteistä tapauskohtaisesti. Valaistus voidaan esimerkiksi hyväksyä sellaisenaan, jos poikkeaman syy ei vaikuta valaistusteknillisten vaatimusten täyttymiseen.

Käsitys laadunvarmistusmittausten luotettavuudesta ja mittaustuloksille sallittavista poikkeamista tarkentuu sitä mukaa, kun laadunvarmistusmittausten määrä kasvaa.

Taulukko 78. Yhteenveto kaikkien mittauspisteverkkojen mitattujen ja laskennallisten kokonaiskeskiarvojen $E_{m, kok}$ suhteellisista eroista, mitattujen ja laskennallisten yleistasaaisuuksien $E_{3min, m} / E_{m, kok}$ suhteellisista eroista. sekä mitattujen ja laskennallisten pitkittäissuuntaisten keskiarvojen $E_{m, pit}$ suhteellisten erojen suurimmista poikkeamista. Merkittävät poikkeamat on merkitty punaisella. Sinisellä merkityt arvot ovat merkittäviä, mutta niille on hyväksyttävä selitys. Taulukossa on lisäksi esitetty, onko kohteen valaistus hyväksyttävä vai onko valaistus korjattava vai tarvitaanko kohteessa lisätutkimusta. Turku puuttuu vertailusta, koska kohteen lähtötiedot puuttuivat, jolloin tulosten luotettavuutta ei voida varmistaa.

Kohde	Mittauspisteverkko								VALAISTUS	
	Standardin mukainen mittauspisteverkko			InfraRYL:n mittauspisteverkko			Sovellettu mittauspisteverkko			
	Pituussuuntaisten keskiarvojen suhteellisten erojen max. poikkeama (% yksikköä)	Yleistasaisuus E3m,kok / Em,kok (ero-%)	Kokonaiskeski arvo Em,kok (ero-%)	Pituussuuntaisten keskiarvojen suhteellisten erojen max. poikkeama (% yksikköä)	Yleistasaisuus E3m,kok / Em,kok (ero-%)	Kokonaiskeski arvo Em,kok (ero-%)	Pituussuuntaisten keskiarvojen suhteellisten erojen max. poikkeama (% yksikköä)	Yleistasaisuus E3m,kok / Em,kok (ero-%)		Kokonaiskeski arvo Em,kok (ero-%)
Kilpilahti										KORJATTAVA
132-133	8	12	-4	12	7	-1	8	32	-2	HYVÄKSYTTY
139-140	36	49	-0,4	8	71	-1	29	64	-2	USÄTUTK.
223-224	31	10	-3	13	29	1	35	54	-1	USÄTUTK.
254-255	21	10	-12	7	11	-6	17	18	-9	USÄTUTK.
263-264	22	9	-6	8	13	1	17	15	-2	USÄTUTK.
294-295	20	-46	3	6	-42	5	12	-44	3	USÄTUTK.
602-603	18	10	1	16	1	11	9	11	3	USÄTUTK.
Helsinki										
Ilvestie	5	-13	-13	20	-12	-11	20	-10	-10	KORJATTAVA
Näätätie	4	3	-18	15	-8	-14	17	-5	-14	KORJATTAVA
Yliskylänt. Umpiäid.p.	6 9	-9 -23	-20 9	2 2	-7 -27	-16 3	5 3	-5 -12	-21 6	HYVÄKSYTTY HYVÄKSYTTY
Vantaa										
Kaislatie	17	11	-10	44	23	-8	41	23	-13	USÄTUTK.
Kimal.tie	85	2	-51	71	-16	-47	77	-11	-54	KORJATTAVA
Korennonnt.	1	-55	-66		ei saatavilla		4	-53	-65	USÄTUTK.
Lahti										
9-10	2	-3	-66	2	-5	-68	5	13	-68	HYVÄKSYTTY
28-29	4	-55	-7	4	-56	-3	6	-44	-4	KORJATTAVA

6.3.4 Laadunvarmistusmittausten vahvuudet ja heikkoudet

Valaistusvoimakkuusmittaukseen perustuvan laadunvarmistusmenetelmän (ks. luku 5.2) suurin heikkous on se, että menetelmää voidaan luotettavasti käyttää vain uudiskohteisiin. Lisäksi tarvitaan oikeat lähtötiedot, joka tarkoittaa mittauskohteen valaistuksen rakennussuunnitelmaa. Mitattavan kohteen tulee olla verraten uusi, jolloin valonlähteiden alenemakertoimen voidaan olettaa olevan 1.

Tämän työn aikana muiksi laadunvarmistusmittausten heikkouksiksi paljastuivat muun muassa ajoradan kaarrekohdat, liittymä-alueet, geometrisilta mitoiltaan epämääräiset kadut, esimerkiksi tonttikadut sekä lisäksi pysäköidyt ajoneuvot.

Mittauspisteverkko olisi mahdollista määritellä ajoradan kaarrekohtaan, mutta vastaavan tilanteen luominen riittävän tarkasti laskentaohjelmaan on hankalaa. Liittymäalueilla tie- ja katualue monimutkaistuu, jolloin myös mittauspisteiden sijainnin määrittäminen hankaloituu.

Varsinkin ahtailla kaupunkikaduilla ajoradan leveys voi vaihdella pylväsvälin matkalla. Tällaisessa tapauksessa on mittauspisteverkko mitoitettava pienimmän leveyden mukaan. Tällöin ajoratamerkinnoistä ei enää ole apua, jolloin mittauspisteiden sijainnin määrittäminen hankaloituu. Ajoratamerkinnot voivat lisäksi puuttua kokonaan, mikä on yleistä erityisesti kaupungin kaduilla. Tällöin ajoradan reunaviivan määrittämisessä voidaan käyttää reunakiviä. Keskiviivamerkinnojen puuttuessa voidaan sen sijainti

arvioida asvalttirajan avulla, erikseen mittaamalla tai jättämällä keskiviivan mittauspisteet kokonaan pois.

Erityisesti kaupungin ahtailla tonttikaduilla katujen reunaan pysäköidyt autot voivat estää valaistusmittaukset joillakin pylväsväleillä. Hätätapauksessa voidaan tällaisessa tilanteessa mitata esimerkiksi vain toinen ajokaista.

Valaistusvoimakkuusmittaukseen perustuva laadunvarmistusmenetelmä ei yleensä vaadi ajoradan sulkemista, jos mittaukset suoritetaan esimerkiksi ilta-aikaan vilkkaimman liikenteen laannuttua.

7 Tie- ja katuvalaistuksen valaistusteknilliset laadunvarmistusmittaukset -ohje

Tämä luku sisältää yksityiskohtaiset toimintaohjeet, miten tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmittaukset suoritetaan ja miten mittaustulokset analysoidaan.

Tämä luku toimii yhteenvetona kaikista edellisissä luvuissa käsitellyistä asioista. Toimintaohje perustuu edellisissä luvuissa tehtyihin havaintoihin olennaisimmista tie- ja katuvalaistuksen arviointiin ja mittaukseen liittyvistä asioista. Toimintaohje perustuu myös luvun 6 laadunvarmistusmittauksista saatuihin kokemuksiin hyvistä menettelytavoista.

Tämän luvun tarkoitus on toimia ohjeena, joten menettelytapojen perustelu on jätetty vähemmälle. Tarvittaessa perustelut on luettavissa edellisistä luvuista.

7.1 Yleistä

Tässä esitetty laadunvarmistusmenetelmä soveltuu uuden tie- tai katuvalaistusasennuksen laadunvarmistukseen.

Jotta toteutetun tie- ja katuvalaistuskohteen vaatimustenmukaisuudesta voidaan varmistua, on laadunvarmistuksen tavoite todentaa, että

- valaistusteknillinen laskenta täyttää valaistusvaatimukset
- valaistusasennus on valaistuksen rakennussuunnitelman ja työkohtaisten laatuvaatimusten mukainen.

Laadunvarmistus sisältää kolme vaihetta, jotka suoritetaan seuraavassa järjestyksessä (yhteenveto on esitetty kuvassa 17):

1. kohteen valaistuksen rakennussuunnitelman tarkastus
2. kohteen silmämääräinen tarkastelu
3. valaistusteknilliset mittaukset

Valaistuksen rakennussuunnitelman tarkastus

Laadunvarmistuksen lähtöaineistoksi tarvitaan kohteen valaistuksen rakennussuunnitelma. Valaistuksen rakennussuunnitelmasta nähdään, miten ja minkälaisin valaistuskalustein valaistus on ollut tarkoitus toteuttaa. Valaistusteknillisistä laskennoista tarkastetaan, onko suunnitelma tehty laskentojen mukaan. Lähtöaineiston mukana on vaadittava hankinta-asiakirjat valaistuslaitteista. Luettelon avulla voidaan varmistua siitä, että työmaalle on hankittu oikeat tuotteet.

Jos alkuperäiseen valaistussuunnitelmaan on urakoitsijan toimesta tehty muutoksia, esimerkiksi hankittavien valaisimien osalta, tulee erityisesti valaistusteknilliset laskennat tarkastaa huolellisesti.

Valaistuksen rakennussuunnitelmasta tarkastettavat ja huomioon otettavat asiat:

- valaisinpylväiden sijainti (esimerkiksi etäisyys ajoradan reunasta riittävä, ei ylipitkiä pylväsvälejä),
- valaistusrakenteet (esimerkiksi valaisintyypit, valaisinpylvään korkeus, valaisinvarren pituus, valaisinvarren kallistuskulma, oikean kokoinen jalusta).

Valaistusteknisistä laskennoista tarkastettavat ja huomioon otettavat asiat:

- valaistusvaatimusten täyttyminen kuivalla ja märällä päällysteellä valitussa valaistusluokassa (Suomessa kuiva päällyste R2 ja märkä päällyste W3),
- valovirta valonlähteen mukaan,
- alenemakerroin valittu valonlähteen ja huoltovälin mukaan (estohäikäisy laskettuna alenemakertoimella 1),
- valopisteen sijainti poikkileikkauksessa (vastattava valaisinvarren ja valaisimen mittoja),
- kallistuskulma (normaalisti 5 °, voi vaihdella valaisinkalusteiden mukaan),
- asennuskorkeus.

Valaistuksen rakennussuunnitelma tulee tarkastaa huolellisesti, sillä niistä mahdollisesti löytyvät puutteet voivat paljastaa puutteita myös toteutuneessa valaistuksessa. Valaistusteknisiä mittauksia ei tällaisessa tapauksessa välttämättä tarvita lainkaan.

Jos alkuperäiset valaistustekniset laskennat ovat puutteellisia tai ne ovat ristiriidassa toteutuneen asennuksen kanssa, tulee valaistusteknistien vaatimusten täyttyminen toteutuneilla ratkaisulla tarkistaa uusin luminanssilaskelmin. Jos valaistustekniset vaatimukset eivät täyty, on asennusvirheet korjattava.

Silmämääräinen tarkastelu

Ennen varsinaisia valaistusmittauksia kohteessa suoritetaan silmämääräinen tarkastelu. Se tehdään koko alueella. Silmämääräisesti tarkastetaan ja havainnoidaan seuraavat asiat:

- valaistuksen yleisilme (ajoradan pinnan luminanssin yleis- ja pitkittäistasaisuus sekä suuruus, häikäisy),
- asennettujen valaisimien ja valaistusrakenteiden suunnitelmien mukaisuus
- valaisinpylväiden ja valaisimien asentoon ja suuntaukseen liittyvät virheet ja niiden suuruuden arviointi
- mitattavien pylväsvälien etsintä

Silmämääräiset havainnot auttavat merkittävästi mittaustulosten analysointia.

Koska silmämääräinen arviointi on subjektiivista, ei valaistuksen puutteellisuutta voida todeta yksistään silmämääräisen tarkasteluun perustuen. Kuitenkin selkeissä virhetapauksissa voidaan urakoitsijan ja tilaajan yhteisymmärryksessä asennusvirheiden korjaamisesta sopia ilman valaistusmittauksia.

Valaistusteknilliset mittaukset

Valaistusteknillisten mittausten avulla voidaan todeta sellaisia puutteita, joita on hankala havaita silmämääräisesti (esimerkiksi väärä valonjako tai liian pieni valovirta). Lisäksi valaistusteknillisten mittausten avulla voidaan silmämääräisesti havaittuja puutteita tarkastella riippumattomasti.

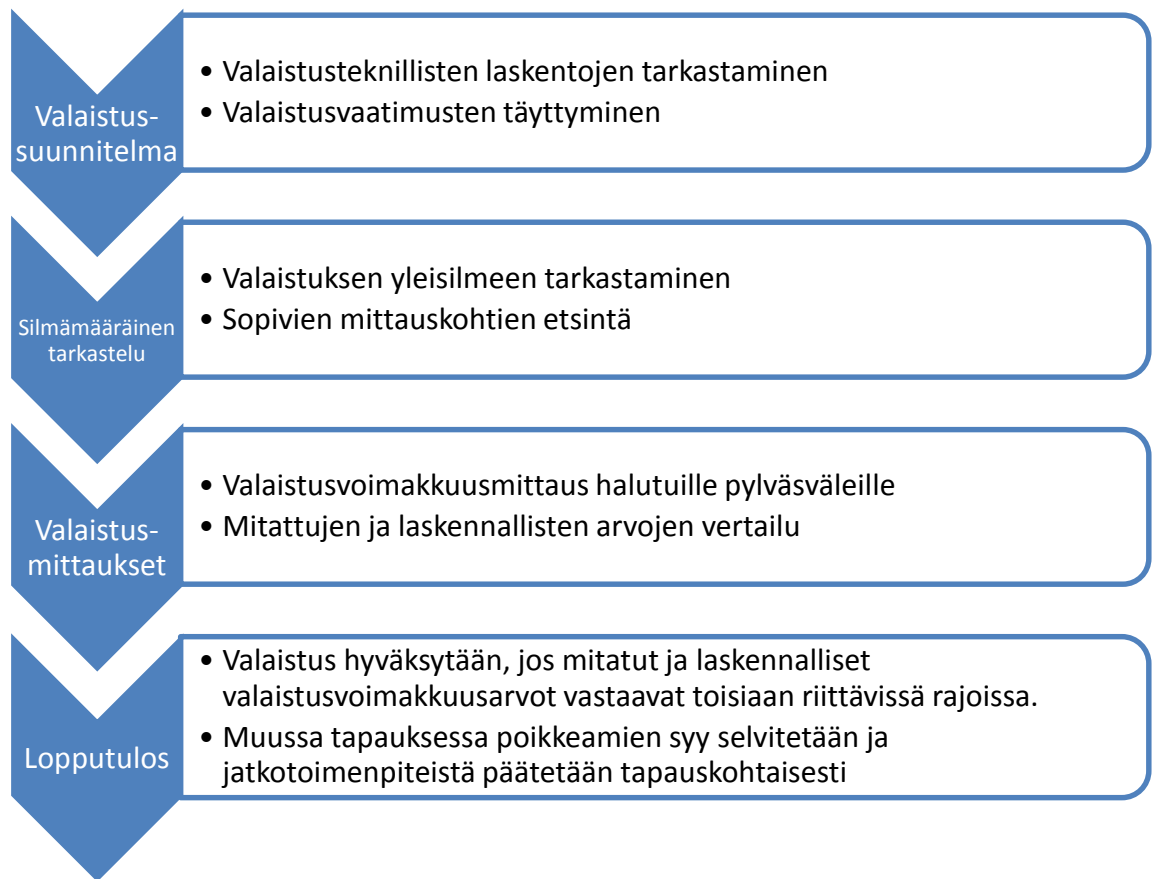
Ennen valaistusmittauksia on purkauslamppujen tapauksessa varmistuttava riittävästä kokonaispolttajasta. Lisäksi on selvittävä mahdollinen valaistuksen ohjaus- ja säätötapa.

Maanteillä suoritettavista mittauksista on tehtävä ilmoitus Tieliikennekeskukseen.

Valaistusteknillinen mittaus suoritetaan kohteen koosta riippuen yhdellä tai useammalla eri pylväsvälillä. Mitä useammalla pylväsvälillä mittaus tehdään, sitä luotettavampia johtopäätöksiä saadaan.

Valaistusteknillisten mittausten periaate on seuraavanlainen:

1. Valaistusvoimakkuudet mitataan ajoradan pinnan suuntaisesti mittauspisteverkon määrittelemissä mittauspisteissä. Mittauspisteverkko ja mittausmenettelyt on esitetty tarkemmin luvussa 7.2.
2. Valaistusteknillistä laskentaa varten luodaan valaistuslaskentaohjelmaan mitattavaa pylväsväliä tarkoin vastaava tilanne. Se tarkoittaa, että valaistuslaskentaohjelmassa ajoradan leveys, ajokaistojen leveydet, pylväsväli ja valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunasta vastaavat täysin mittauskohdetta. Valaisintyyppi, valaisimien valonjako, valovirta, valaisimien suuntaus ja valopisteen sijainti (tähän vaikuttaa valaisintyyppi, valaisinvarren pituus ja valaisinpylvään etäisyys ajoradan reunasta) valitaan valaistuksen rakennussuunnitelman mukaan.
3. Tehdään mitattavalta pylväsväliltä luminanssilaskenta, jonka avulla tarkistetaan täytyvätkö valaistusvaatimukset mitattavalla pylväsvälillä.
4. Valaistuslaskentaohjelman ominaisuuksia hyväksi käyttäen selvitetään kohdan 1 vastaavissa mittauspisteissä laskennalliset valaistusvoimakkuusarvot. Koska mitattava valaistus on uusi, tulee alenemakertoimen olla 1.
5. Kun mitatut ja laskennalliset valaistusvoimakkuusarvot mittauspisteverkon määrittelemissä mittauspisteissä tiedetään, voidaan niitä vertailla keskenään.
6. Jos mitatut ja laskennalliset valaistusvoimakkuusarvot vastaavat toisiaan riittävässä rajoissa (ks. luku 7.3), voidaan valaistusasennuksen todeta olevan suunnitelmien mukainen ja siten valaistuksen voidaan olettaa täyttävän valaistusvaatimukset. Jos mittaustulokset poikkeavat laskennallisista, selvitetään poikkeamien syy ja jatkotoimista päätetään tapauskohtaisesti.



Kuva 17. Tie- ja katuvalaistuskohteen laadunvarmistuksen eri vaiheet.

7.2 Valaistusteknillisten mittausten suorittaminen

7.2.1 Mittausvälineet

Valaistusteknillisten mittausten suorittamiseen tarvitaan kaksi henkilöä, joista toinen on mittaaja ja toinen on kirjuri.

Valaistusteknillisiin mittauksiin tarvitaan seuraavat välineet:

- Tarkoitukseen sopiva, laadukas ja kalibroitu horisontaalivalaistusvoimakkuuden mittaamiseen soveltuva valaistusvoimakkuusmittari erillisellä valoanturilla. Valaistusvoimakkuusmittarissa tulee olla huomioitu kosinikorjaus sekä silmän spektriherkkyyskäyrä.
- Varrellinen aluslevy, johon valoanturi kiinnitetään. Aluslevy auttaa valoanturin asettamista ajoradan pinnan suuntaisesti. Varsi pitää mittaajan etäällä valoanturista, jolloin mittaajan varjon vaikutus minimoidaan.
- Mittapyörä, jonka avulla pylväsvälin, ajoradan ja -kaistojen leveyden sekä mittauspisteiden pitkittäissuuntaisten etäisyyksien mittaaminen onnistuu nopeasti. Mittapyörän matkamittarin lukemista varten tarvitaan pienikokoinen taskulamppu, jos mittarin lukeminen pimeällä on hankalaa.
- Rullamitta, jonka avulla valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunasta voidaan mitata nopeasti.

- Virta- ja jännitemittari
- Spraymaali, jonka avulla mittauspisteet merkitään ajoradalle.
- Muistiinpanovälineet mittaustulosten kirjaamista varten.

7.2.2 Muistiinpanot

Mittaustulosten luotettavuuden arviointia varten on tärkeää, että havainnot mittaussympäristöstä sekä mittausolosuhteet kirjataan tarkasti ylös. Mitattavan pylväsvälin ominaisuudet on kirjattava tarkasti muistiin, jotta vastaavan tilanteen luominen valaistuslaskentaohjelmassa onnistuu.

Vähintään seuraavat tiedot tulee kirjata ylös:

- mittauskohteen tiedot,
- mittausajankohta,
- sääolosuhteet,
- varjot ja häiriövalokohteet,
- ajoradan ja -kaistojen leveys,
- pylväsväli,
- valaisinpylväiden etäisyys ajoradan reunaan,
- valaisimien ja valaisinpylväiden suuntaukset,
- valaisimien asennuskorkeus,
- valaisinvarsien pituudet,
- valaisin- ja lampputyypit,
- valaisimien jännitteet ja virrat.

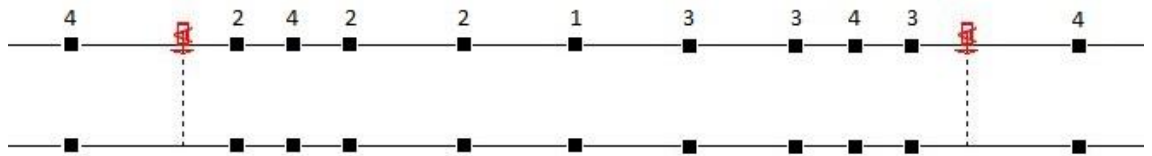
Mittauspöytäkirjaan merkitään selkeästi, miten mittauspisteet, ajorata ja valaisimet sijaitsevat toisiinsa nähden.

7.2.3 Mittauspisteverkko

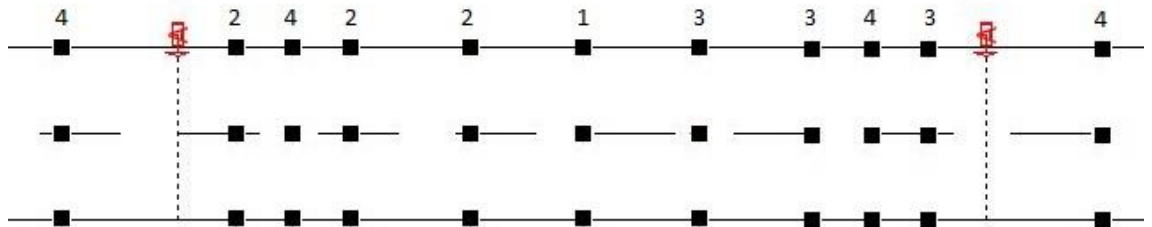
Mittauspisteverkko määrittelee mittauspisteiden sijainnin, joissa valaistusvoimakkuudet mitataan. Mittauspisteiden määrä riippuu pylväsvälin pituudesta ja ajokaistojen lukumäärästä.

Laadunvarmistusmittausten mittauspisteverkko määritellään seuraavasti (kuvat 18, 19 ja 20):

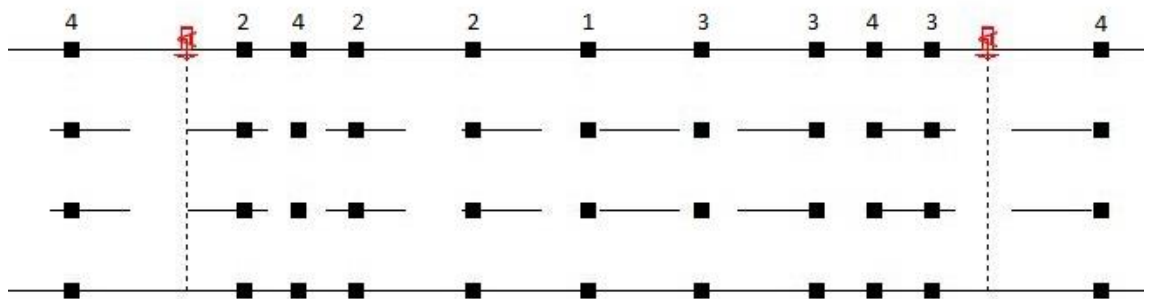
- Mittauspisteet sijaitsevat ajokaistojen reunaviivoilla (reunaviivojen keskellä).
- Ensimmäinen mittauspoikkileikkaus sijaitsee pylväsvälin puolivälissä (1).
- Seuraavat mittauspoikkileikkaukset sijaitsevat pylväsvälin puolesta välistä lähtien 5 metrin välein, kunnes ollaan alle 5 metrin päässä pylväsvälin toisesta valaisinpylvästä (2),
- Sama toistetaan toiselle pylväsvälin puoliskolle (3).
- Molemmille valaisinpylväille mittauspoikkileikkaukset ± 5 metrin etäisyyksille valaisinpylväistä (4).



Kuva 18. Mittauspisteverkon muodostuminen 1-kaistaisella ajoradalla (rampit). Mittauspisteet merkitty mustilla neliöillä.



Kuva 19. Mittauspisteverkon muodostuminen 2-kaistaisella ajoradalla. Mittauspisteet merkitty mustilla neliöillä.



Kuva 20. Mittauspisteverkon muodostuminen 3-kaistaisella ajoradalla. Mittauspisteet merkitty mustilla neliöillä.

7.2.4 Työvaiheet

Työvaiheet on numeroitu suoritusjärjestyksessä:

1. Tehdään tarvittavat havainnot ja kirjataan luvussa 7.2.2 mainitut seikat. Valaisinpylvään ja valaisimen asentoa sekä suuntausta voi parhaiten arvioida asettamalla valaisinpylvään eteen vastakkaiselle puolelle ajorataa.
2. Määritetään mittauspisteiden sijainnit luvun 7.2.3 mukaan ja merkitään ne spraymaalilla ajoradan pinnalle. Mittauspisteverkon määrittäminen kannattaa aloittaa pylväsvälin keskeltä, josta siirrytään 5 metrin välein kohti toista pylvästä. Jokaisen mittauspoikkileikkauksen mittauspisteet merkitään ajokaistojen reunaviivoille (reunaviivojen keskelle). Kun mittauspisteet on valmiiksi merkitty ajoradalle, on valoanturi helppo ja nopea asettaa oikealle paikalle.

3. Valaistusvoimakkuusmittarin valoanturi asetetaan ajoradan pinnan suuntaisesti ja valaistusvoimakkuudet kirjataan ylös. Mittaajan ja kirjurin tulee asettua niin, ettei valoanturin päälle muodostu varjoa. Mittajaan tulee asettua esimerkiksi siten, että valoanturi jää mittaajan ja valaisinpylväiden väliin.

7.3 Mittaustulosten analysointi

Kun valaistusvoimakkuudet on mitattu mittauspisteverkon määrittelemissä mittauspisteissä, selvitetään valaistusteknillisen laskennan avulla vastaavissa pisteissä valaistusvoimakkuuksien laskennalliset arvot.

Mitatut ja laskennalliset arvot järjestetään havainnollisuuden vuoksi taulukossa 79 esitetyn esimerkin mukaiseen muotoon. Taulukon rakenne on seuraava:

- Värityn sarake: mitatut arvot.
- Sininen sarake: laskennalliset arvot.
- Vihreä sarake: mitatun ja laskennallisen arvon suhteellinen ero. Suhteellinen ero on negatiivinen, jos mitattu arvo on pienempi kuin laskennallinen arvo. Suhteellinen ero on positiivinen, jos mitattu arvo on suurempi kuin laskennallinen arvo.
- Taulukon rivi kertoo mittauspisteen sijainnin ajoradan pitkittäissuunnassa.
- Taulukon sarake kertoo mittauspisteen sijainnin ajoradan poikittaissuunnassa.
- Pylväsnumeroiden sijainti kertoo kummalla puolella ajorataa valaisimet ja valaisinpylväät sijaitsevat.

Mitatuista ja laskennallisista arvoista lasketaan seuraavat tunnusluvut ja niiden suhteelliset erot:

- kokonaiskeskiarvo $E_{m, kok}$,
- yleistasaisuus seuraavasti: mittausalueen kolmen pienimmän luvun keskiarvon suhde kokonaiskeskiarvoon $E_{3min, m} / E_{m, kok}$,
- sarakekohtaiset pitkittäissuuntaiset keskiarvot $E_{m, pit}$,
- sarakekohtaiset pitkittäissuuntaiset tasaisuudet seuraavasti: kolmen pienimmän sarakekohtaisen luvun keskiarvon suhde sarakekohtaiseen keskiarvoon $E_{3min, pit} / E_{m, pit}$.

Mitatuista ja laskennallisista arvoista laskettavat tunnusluvut eivät ole vertailukelpoisia valaistusvaatimuksissa esiintyvien tunnuslukujen kanssa.

Mittauspisteet, jotka sijaitsevat kuvien 18, 19 ja 20 mittauspöykileikkauksissa 4, ei sisällytetä tunnuslukujen laskentaan. Niiden avulla tutkitaan, onko valaisimien suuntaus oikea ja onko valaisimien valonjako symmetrinen.

Taulukko 79. Esimerkki mittaustulosten järjestämisestä.

Sijainti ajoradan pitkittäis- suunnassa (m)		Sijainti ajoradan poikittaissuunnassa								
		Reunaviiva			Keskiviiva			Reunaviiva		
		mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)	mit (lx)	lask (lx)	ero (%)
101										
102										
Em,pit										
E3min,pit/Em,pit										
Em,kok										
E3min,kok/Em,kok										
101	-5m									
	+5m									
102	-5m									
	+5m									

Valaistusasennus voidaan hyväksyä suoraan, jos kaikki seuraavista ehdoista täyttyvät:

- silmämääräisessä tarkastuksessa ei havaita puutteita,
- mitattu kokonaiskeskiarvo $E_{m, kok}$ poikkeaa laskennallisesta enintään -5 %,
- mitattu tasaisuus $E_{3min, m} / E_{m, kok}$ poikkeaa laskennallisesta enintään -40 %,
- mitattujen ja laskennallisten pitkittäissuuntaisten keskiarvojen suhteelliset erot poikkeavat toisistaan enintään 10 %-yksikköä.

Jos mitatut valaistusvoimakkuusarvot poikkeavat merkittävästi laskennallisista arvoista eli jos yllä olevat ehdot eivät täyty, tulee poikkeamien syy selvittää. Esimerkiksi asennusvirhe voidaan jäljittää valaistuskokonaislaskennan avulla kokeilemalla minkäläisillä ominaisuuksilla (esimerkiksi valovirtaa, valonjakoa tai kallistuskulmaa vaihtelemalla) laskennalliset arvot vastaavat mitattuja.

Kun poikkeaminen syy on selvitetty, päätetään tapauskohtaisesti hyväksytäänkö valaistus sellaisenaan vai tarvitaanko jatkotoimenpiteitä (esimerkiksi asennusvirheiden korjaus).

8 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistuksen tämän hetkistä tilannetta kartoitettiin julkisille valaistustoimijoille suunnatulla kyselyllä sekä tie- ja katuvalaistuksen asiantuntijahaastatteluin.

Tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistus mielletään usein hankalaksi ja kalliiksi toimenpiteeksi, minkä vuoksi laadunvarmistus tehdään usein vain suurten tie- ja katuhankeiden yhteydessä. Lisäksi alalta puuttuu yhtenäisesti käytössä oleva laadunvarmistusmenetelmä, jolloin tulokset ovat menetelmästä riippuen vaihtelevia ja moniselitteisiä. Valaistusalalla yleisesti vallitseva muutostila ja urakointialalle ominaiset piirteet, kuten kustannuspaineet ja kiireelliset rakentamisaikataulut, voivat johtaa siihen, että tie- ja katuvalaistuksen laadusta tingitään. Sen vuoksi tie- ja katuvalaistuksen laadunvalvontaa tulee lisätä.

Tässä diplomityössä kehitettiin parannettu tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmenetelmä, jonka avulla voidaan todeta uuden tie- tai katuvalaistuskohteen vaatimustenmukaisuus sekä tunnistaa mahdollinen asennusvirhe. Menetelmä on nopea ja yksinkertainen, mikä mahdollistaa valaistuksen laadunvarmistuksen myös pienempien hankkeiden yhteydessä. Työn lopputuloksena saatiin yksityiskohtainen toimintaohje, jossa kerrotaan, miten tie- ja katuvalaistuksen laadunvarmistusmittaukset suoritetaan ja miten mittaustulokset analysoidaan.

Parannettu laadunvarmistusmenetelmä kehitettiin kolmen nykyisin käytössä olevan menetelmän parhaista puolista. Käytännössä kehitystyö perustuu työssä tehtyjen laadunvarmistusmittausten tuloksiin. Laadunvarmistusmittaukset eri kohteissa suoritettiin kaikilla kolmella menetelmällä.

Huolimatta siitä, että tie- ja katuvalaistuksen valaistusvaatimukset ovat luminanssiperusteisia, käytetään laadunvarmistuksessa yleensä valaistusvoimakkuusmittausta. Valaistusvoimakkuusmittauksen ominaisuudet vastaavat laadunvarmistuksen tavoitteita luminanssimittausta paremmin. Luminanssimittaukseen liittyy liikaa epävarmuustekijöitä, jolloin mittaustulosten saaminen vertailukelpoisiksi valaistusteknillisten laskentojen hankaloituu. Lisäksi luminanssimittaus vie enemmän aikaa, mikä nostaa kustannuksia.

Parannetun laadunvarmistusmenetelmän haasteeksi voidaan mieltää se, että yleispätevien mittaustuloksille sallittavien poikkeamien määrittäminen on hankalaa, koska mittausepävarmuuden määrittäminen on hankalaa. Se johtuu siitä, että eri virhetekijät ja niiden vaikutukset mittaustuloksiin ovat tapauskohtaisia. Jos mitatut valaistusvoimakkuusarvot poikkeavat laskennallisista arvoista, on valaistuksen hyväksyttävyyttä hankala arvioida yksiselitteisesti, sillä poikkeamat voivat johtua joko asennus- tai mittausrvirheestä. Sen vuoksi jokaista tilannetta joudutaan lähes aina pohtimaan tapauskohtaisesti.

Laadunvarmistusmittauksiin liittyvien mittausrvirheiden suurusluokkien tutkimista tulisi jatkaa, jolloin mittaustuloksista tehtävien johtopäätösten luotettavuus parantuisi. Tutkimuskeinona voisi olla referenssiasiennusten rakentaminen, jolloin mahdollisten asennusrvirheiden vaikutus mittaustuloksiin saadaan eliminoidua ja pelkkien mittausrvirheiden suuruuksien arvioiminen olisi mahdollista.

Käsitys laadunvarmistusmenetelmän tarkkuudesta paranee myös sitä mukaa, kun laadunvarmistusmittausten lukumäärä kasvaa.

Lähteet

- [1] Rakennustietosäätiö RTS. 2009. *InfraRYL 2006 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 2: Järjestelmät ja täydentävät osat*. Helsinki. Rakennustieto Oy. 253 sivua. ISBN 978-951-682-933-6.
- [2] Tiehallinto. 2006. *Tievalaistuksen suunnittelu*. [Verkkodokumentti]. Tiehallinnon julkaisu TIEH 2100034-v-06. 116 sivua. ISBN 951-803-553-9. [Viitattu: 31.3.2013] Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf
- [3] CIE (Commission Internationale De L'eclairage). 1992. *Technical Report: Road lighting as an accident countermeasure*. CIE Publication No. 93:1992. 122 sivua. ISBN 978 3 900734 30 5.
- [4] Wanwik P.O. 2009. *Road lighting and Traffic Safety - Do we need Road Lighting?*. [Verkkodokumentti] Väitöskirja. Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering. Norja. 195 sivua. ISBN 978-82-471-1509-1. [Viitattu 11.8.2013]. Saatavissa: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:214139/FULLTEXT01.pdf>
- [5] Tiehallinto. 2006. *Tievalaistuksen toimintalinjat*. [Verkkodokumentti]. Tiehallinnon julkaisu TIEH 1000105-v-06. 12 sivua. ISBN 951-803-637-3. [Viitattu: 31.3.2013]. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/1000105-v-06tievtoimlinj.pdf>
- [6] van Bommel W.J.M., de Boer J.B. 1980. *Road lighting*. Deventer. Kluwer Technische Boeken B.V. 328 sivua. ISBN 0 333 30679 1.
- [7] CIE (Commission Internationale De L'eclairage). 2011. *ILV: International Lighting Vocabulary*. CIE standardi No. S 017/E:2001. 173 sivua.
- [8] de Boer. 1967. *Public lighting*. Eindhoven. Philips Technical Library. 693 sivua. Ei ISBN-numeroa.
- [9] Ahponen V., Kajan T., Falck S. 1977. *Valaistustekniikan käsikirja I*. Helsinki. Sähköliikkeiden Palvelu ja Kustannus Oy. 304 sivua. ISBN 951-95176-9-3.
- [10] LiCon-AT. 2007. Luentokalvot. 58 kalvoa.
- [11] SFS-EN 13201-2. 2003. *Road lighting. Part 2: Performance requirements*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 16 sivua.
- [12] CEN/TR 13201-1. 2004. *Road lighting. Part 1: Selection of lighting classes*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 29 sivua.
- [13] SFS-EN 13201-4. 2003. *Road lighting. Part 4: Methods of measuring lighting performance*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 14 sivua.
- [14] Hautala P. 2013. *Diplomi-insinööri, johtava asiantuntija*. Sito Oy. Espoo. Haastattelu. Useammista haastatteluista koottu yhteenveto.

- [15] Ekrias A. 2013. Tekniikan tohtori, vanhempi suunnittelija. Sito Oy. Espoo. Haastattelu. Useammista haastatteluista koottu yhteenveto.
- [16] SFS-EN 13201-3. 2003. *Road lighting. Part 3: Calculation of performance*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 41 sivua.
- [17] SFS-EN 13032-1. 2004. *Light and lighting. Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires. Part 1: Measurement and file format*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 62 sivua.
- [18] Oy Osram Ab. 2013. *Tuoteluettelo 2013*.
- [19] CIE (Commission Internationale De L'eclairage). 1987. *Technical Report: Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters*. CIE Publication No. 69:1987. 43 sivua. ISBN 978 3 900734 04 6.
- [20] CIE (Commission Internationale De L'eclairage). 2011. *Technical Report: On site measurement of the photometric properties of road and tunnel lighting*. CIE Publication No. 194:2011. 82 sivua. ISBN 978 3 901906 92 3.
- [21] Schreuder D.A. 1998. *Road lighting for safety*. Lontoo. Thomas Telford Publishing. 294 sivua. ISBN 0 7277 2616 1.
- [22] Tiensuu A. 2013. Insinööri, toimitusjohtaja. LiCon-AT Oy. Hyvinkää. Useammista haastatteluista koottu yhteenveto.
- [23] B. Hagner AB. 2010. *Digital luxmeter ECI/ECI-X*. [Verkkodokumentti] Esite. [Viitattu: 24.10.2013] Saatavissa: <http://www.hagner.se/pdf/ec1.pdf>
- [24] Philips Valaistus. 2012. *Philips Lamppuopas 2013*. Philips Lighting Nordic. 170 sivua.